

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-241782

(43)Date of publication of application : 08.09.2000

(51)Int.Cl.

G02F 1/11

H04B 10/02

(21)Application number : 11-042082

(71)Applicant : FUJITSU LTD

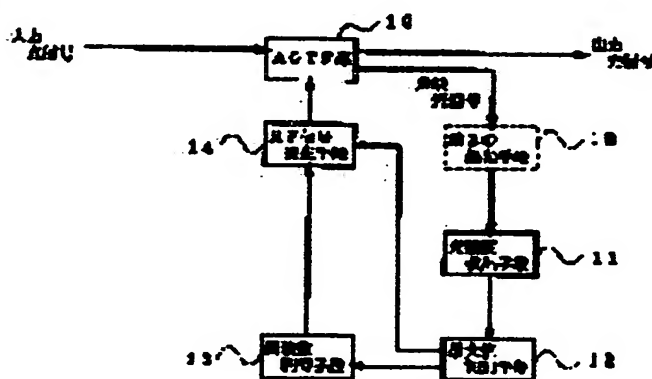
(22)Date of filing : 19.02.1999

(72)Inventor : KAI TAKETAKA  
ONAKA HIROSHI  
SAITO YOSHIHIRO  
KUBODERA KAZUMASA

(54) VARIABLE WAVELENGTH SELECTIVE FILTER AND BRANCHING/ INSERTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To select an optical signal of a desired wavelength even in the case of a temp. change and a secular change, etc.  
SOLUTION: Relating to this device, the light intensity of the optical signal branched is detected by an acoustooptical tunable filter(AOTF) part 10 to be outputted while changing a frequency of an RF signal generated by an RF signal generation means 14 by a maximum value discrimination means 12. The maximum value discrimination means 12 discriminates a maximum value for the optical signal of the prescribed wavelength from the detection value. A frequency control means 13 applies the frequency of the RF signal imparting the maximum value to the AOTF part 10. Thus, the optical signal of the desired wavelength is branched/inserted precisely.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2000-241782

(P 2000-241782A)

(43) 公開日 平成12年9月8日 (2000. 9. 8)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 0 2 F 1/11	5 0 2	G 0 2 F 1/11 5 0 2	2H079
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	U 5K002

審査請求 未請求 請求項の数 20

O L

(全 3 5 頁)

(21) 出願番号 特願平11-42082

(22) 出願日 平成11年2月19日 (1999. 2. 19)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 甲斐 雄高

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 尾中 寛

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺 (外1名)

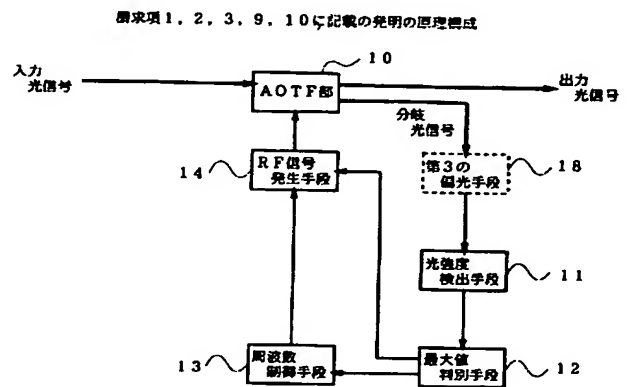
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変波長選択フィルタおよび分岐・挿入装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、温度変化や経年変化などによっても所望の波長の光信号を選択することができる可変波長選択フィルタおよびこの可変波長選択フィルタを使用した分岐・挿入装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明における可変波長選択フィルタおよびこの可変波長選択フィルタを使用した分岐・挿入装置は、RF信号発生手段14によって発生するRF信号の周波数を最大値判別手段12によって変えながら、AOTF部10によって分岐して出力される光信号の光強度を光検出手段11によって検出する。最大値判別手段12は、この検出値から所定波長の光信号に対する最大値を判別する。周波数制御手段13は、この最大値を与えるRF信号の周波数をAOTF部10に印加する。これによって、正確に所望の波長の光信号を分岐・挿入することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光入力を TM モード光と TE モード光とに分岐する第 1 の偏光手段と、分岐した TM モード光を導波する第 1 の光導波路と TE モード光を導波する第 2 の光導波路とに RF 信号を印加する RF 信号印加手段と、前記 RF 信号を印加された第 1 の光導波路と第 2 の光導波路とからの光信号を合波し光の偏光状態に対応して第 1 と第 2 の出力とする第 2 の偏光手段とを備え、印加する RF 信号の周波数に応じて特定波長の光信号の偏光を回転させることで任意の波長の光を選択し第 1 の出力とし、他の波長の光は第 2 の出力とする可変波長選択フィルタにおいて、

前記 RF 信号を発生する RF 信号発生手段と、前記可変波長選択フィルタからの出力の光強度を検出する光強度検出手段と、

前記 RF 信号発生手段により発生する前記 RF 信号の周波数を変えながら前記光強度検出手段から前記光強度を受信して所定波長の光信号に対する前記光強度の最大値を判別する最大値判別手段と、

前記最大値判別手段によって判別された光強度の最大値を与える周波数の RF 信号を発生するように前記 RF 信号発生手段を制御する周波数制御手段とを備えることを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の可変波長選択フィルタは波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続され、

前記最大値判別手段は、前記 RF 信号発生手段により発生する前記 RF 信号の周波数を第 1 の周波数間隔で変えながら前記光強度検出手段から前記光強度を受信して所定波長の光信号に対する前記光強度の第 1 の最大値を判別し、さらに、該第 1 の最大値を与える前記 RF 信号の周波数の前後の周波数範囲において前記 RF 信号の周波数を前記第 1 の周波数間隔より狭い第 2 の周波数間隔で変えながら前記光強度検出手段から前記光強度を受信して前記所定波長の光信号に対する前記光強度の第 2 の最大値を判別する最大値判別手段であることを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の可変波長選択フィルタにおいて、

前記特定波長の光信号を変更する度に、前記周波数制御手段は、前記特定波長の光信号における光強度が最大値となるように前記 RF 信号の周波数を制御することを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項 4】 光入力を TM モード光と TE モード光とに分岐する第 1 の偏光手段と、分岐した TM モード光を導波する第 1 の光導波路と TE モード光を導波する第 2 の光導波路とに RF 信号を印加する RF 信号印加手段と、前記 RF 信号を印加された第 1 の光導波路と第 2 の光導波路とからの光信号を合波し光の偏光状態に対応して第 1 と第 2 の出力とする第 2 の偏光手段とを備え、印

加する RF 信号の周波数に応じて特定波長の光信号の偏光を回転させることで任意の波長の光を選択し第 1 の出力とし、他の波長の光は第 2 の出力とする可変波長選択フィルタにおいて、

前記 RF 信号を発生する RF 信号発生手段と、

前記可変波長選択フィルタの該光入力側に接続され、該光入力内の光信号の波長を除いた波長であって該波長数が既知である基準信号を前記光入力に挿入する基準信号挿入手段と、

10 前記可変波長選択フィルタから出力される前記基準信号を検出する基準信号検出手段と、

前記 RF 信号発生手段によって発生する前記 RF 信号の周波数を変えながら前記基準信号検出手段が前記基準信号を検出した場合における前記 RF 信号の周波数と前記基準信号の波長数とに基づいて前記可変波長選択フィルタに入力される光信号の波長数と RF 信号の周波数との関係を演算する周波数演算手段とを備え、

所定波長の光信号を選択するために前記周波数演算手段によって演算された RF 信号の周波数を印加することを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の可変波長選択フィルタにおいて、

前記基準信号の波長数は、前記光信号を伝送する波長帯域の端の波長数であることを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項 6】 光入力を TM モード光と TE モード光とに分岐する第 1 の偏光手段と、分岐した TM モード光を導波する第 1 の光導波路と TE モード光を導波する第 2 の光導波路とに RF 信号を印加する RF 信号印加手段

30 と、前記 RF 信号を印加された第 1 の光導波路と第 2 の光導波路とからの光信号を合波し光の偏光状態に対応して第 1 と第 2 の出力とする第 2 の偏光手段とを備え、印加する RF 信号の周波数に応じて特定波長の光信号の偏光を回転させることで任意の波長の光を選択し第 1 の出力とし、他の波長の光は第 2 の出力とする可変波長選択フィルタにおいて、

前記可変波長選択フィルタの該光入力側に接続され、該光入力内の光信号を含む波長帯域を増幅する光増幅器と、

40 前記 RF 信号を発生する RF 信号発生手段と、

前記可変波長選択フィルタの出力側に接続され、前記可変波長選択フィルタから出力される光信号の波長と該波長における光強度とを監視するスペクトルモニタと、

前記光増幅器で発生した ASE 内の特定波長の偏光を回転させる既知の周波数の前記 RF 信号を発生させ、前記スペクトルモニタからの ASE の波長を検出する波長判別手段と、

50 前記波長判別手段によって判別された ASE の波長と前記既知の周波数とに基づいて前記可変波長選択フィルタによって挿入および分岐される光信号の波長数と RF 信

号の周波数との関係を演算する周波数演算手段とを備え、

所定波長の光信号を挿入および分岐するために前記周波数演算手段によって演算されたRF信号の周波数を印加することを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項7】 印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を選択する可変波長選択フィルタにおいて、

前記可変波長選択フィルタに印加する前記RF信号を発生するRF信号発生手段と、

前記可変波長選択フィルタから出力される光信号の波長と該波長における光強度とを監視するスペクトルモニタと、

前記RF信号発生手段によって発生するRF信号の周波数を監視するとともに前記スペクトルモニタから出力される波長数と前記RF信号の周波数とに基づいて前記可変波長選択フィルタによって選択される光信号の波長数とRF信号の周波数との関係を演算する周波数演算手段とを備え、

所定波長の光信号を選択するために前記周波数演算手段によって演算されたRF信号の周波数を印加することを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項8】 入力をTMモード光とTEモード光とに分岐する第1の偏光手段と、

前記第1の偏光手段によって分岐したTMモード光を導波する第1の光導波路に第1のRF信号を印加する第1のRF信号印加手段と、

前記第1の偏光手段によって分岐したTEモード光を導波する第2の光導波路に第2のRF信号を印加する第2のRF信号印加手段と、

前記第1のRF信号を印加された前記第1の光導波路と前記第2のRF信号を印加された前記第2の光導波路とからの光信号を合波するとともに光の偏光状態に対応して第1と第2の出力に分岐する第2の偏光手段とを備える、

前記第1のRF信号の周波数および前記第2のRF信号の周波数とに応じた特定波長の光信号を第1の出力とし、他の波長の光は第2の出力として出力する可変波長選択フィルタ。

【請求項9】 請求項1に記載の可変波長選択フィルタにおいて、

前記RF信号印加手段は、前記第1の偏光手段によって分岐したTMモード光にRF信号を印加する第1のRF信号印加手段と前記第1の偏光手段によって分岐したTEモード光にRF信号を印加する第2のRF信号印加手段との2つのRF信号印加手段であり、

前記RF信号発生手段は、前記第1のRF信号印加手段と前記第2のRF信号印加手段とに異なる周波数のRF信号を供給するRF信号発生手段であることを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項10】 請求項9に記載の可変波長選択フィルタにおいて、

前記可変波長選択フィルタにより選択して出力される光信号をTMモード光とTEモード光とに分岐する第3の偏光手段をさらに備え、

前記光強度検出手段は、前記第3の偏光手段から出力されるTMモード光の光強度を検出する第1の光強度検出手段と前記第3の偏光分岐手段から出力されるTEモード光の光強度を検出する第2の光強度検出手段との2つの光強度検出手段であることを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項11】 請求項1、4、6、7、8のいずれか1項に記載の可変波長選択フィルタにおいて、

前記RF信号に低周波信号を重畳する重畳手段と、

前記可変波長選択フィルタから出力される光信号から前記低周波信号を検出して前記所定波長の光信号の光強度が最大値に維持されるように前記RF信号発生手段を制御するトラッキング手段とをさらに備えることを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項12】 請求項11に記載の可変波長選択フィルタであり、

前記トラッキング手段によって制御される前記RF信号発生手段が発生するRF信号の周波数は、前記波長分割多重方式の光信号間隔に対応するRF信号の周波数の範囲内で変化することを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項13】 請求項1、4、6、7、8のいずれか1項に記載の可変波長選択フィルタは同一基板上に複数形成され、

複数の前記可変波長選択フィルタの温度を同一に制御する温度制御手段を有することを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項14】 請求項1、4、6、7、8のいずれか1項に記載の可変波長選択フィルタにおいて、

前記最大値判別手段によって判別された光強度の最大値を与える周波数の前記RF信号を発生するように前記RF信号発生手段を制御するとともに、前記RF信号発生手段により発生する前記RF信号の出力強度を変えながら前記光強度検出手段によって所定波長の光信号を検出して該所定波長の光信号に対する前記光強度の最大値を判別する強度最大値判別手段とをさらに備え、

前記周波数制御手段は、前記最大値判別手段によって判別された光強度の最大値を与える周波数と前記強度最大値判別手段によって判別された光強度の最大値を与える出力強度との前記RF信号を発生するように前記RF信号発生手段を制御することを特徴とする可変波長選択フィルタ。

【請求項15】 波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続されるとともに、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐及び挿入する可変

波長選択フィルタと、前記可変波長選択フィルタに印加する前記RF信号を発生するRF信号発生手段と、前記可変波長選択フィルタによって分岐した光信号を受信処理する受信処理手段と、前記可変波長選択フィルタに挿入する光信号を生成する光信号生成手段とを備える分岐・挿入装置において、  
前記可変波長選択フィルタは、 $n$ 個の光信号を分岐または挿入することができ、  
前記RF信号発生手段は、 $(n+1)$ 個であることを特徴とする分岐・挿入装置。

【請求項16】 波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続されるとともに、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐及び挿入する第1の可変波長選択フィルタと、前記第1の可変波長選択フィルタによって分岐した光信号の中から所定波長の光信号を選択する第2の可変波長選択フィルタを備えるとともに該第2の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光信号を受信処理する受信処理手段と、複数の波長を持つ光から所定波長の光を選択する第3の可変波長選択フィルタを備えるとともに該第3の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光を変調して前記第1の可変波長選択フィルタに挿入する光信号を生成する光信号生成手段とを備える分岐・挿入装置において、  
前記第1ないし第3の可変波長選択フィルタのうち少なくとも1つは、請求項1、4、6、7、8のいずれか1項に記載の可変波長選択フィルタであることを特徴とする分岐・挿入装置。

【請求項17】 波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続されるとともに、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐及び挿入する第1の可変波長選択フィルタと、前記第1の可変波長選択フィルタによって分岐した光信号の中から所定波長の光信号を選択する第2の可変波長選択フィルタを備えるとともに該第2の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光信号を受信処理する受信処理手段と、複数の波長を持つ光から所定波長の光を選択する第3の可変波長選択フィルタを備えるとともに該第3の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光を変調して前記第1の可変波長選択フィルタに挿入する光信号を生成する光信号生成手段とを備える分岐・挿入装置において、  
前記第1の可変波長選択フィルタは、請求項1、4、6、7、8のいずれか1項に記載の可変波長選択フィルタであって該請求項1、4、6、7、8の可変波長選択フィルタを複数個縦続に接続したことを特徴とする分岐・挿入装置。

【請求項18】 請求項1または請求項2に記載の可変波長選択フィルタと、  
変化する前記RF信号の周波数と該周波数に対する前記

光強度検出手段によって検出された光強度とを記憶する記憶手段とからなるスペクトルモニタ。

【請求項19】 請求項18に記載のスペクトルモニタにおいて、

前記送出すべき光信号を出力する出力側に接続されるとともに該光信号を遮断する遮断手段をさらに備えることを特徴とするスペクトルモニタ。

【請求項20】 波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続されるとともに、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐及び挿入する第1の可変波長選択フィルタと、前記第1の可変波長選択フィルタによって分岐した光信号の中から所定波長の光信号を選択する第2の可変波長選択フィルタを備えるとともに該第2の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光信号を受信処理する受信処理手段と、複数の波長を持つ光から所定波長の光を選択する第3の可変波長選択フィルタを備えるとともに該第3の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光を変調して前記第1の可変波長選択フィルタに挿入する光信号を生成する光信号生成手段とを備える分岐・挿入装置において、

前記第1ないし第3の可変波長選択フィルタのうち少なくとも1つは、請求項18または請求項19に記載のスペクトルモニタであって、

前記第1ないし第3の可変波長選択フィルタのうち少なくとも1つを可変波長選択フィルタとして使用するかまたはスペクトルモニタとして使用するかを制御する選択制御手段とをさらに備え、

前記第1ないし第3の可変波長選択フィルタのうち少なくとも1つは、可変波長選択フィルタとスペクトルモニタとしての機能を兼ね備えることを特徴とする分岐・挿入装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信ネットワークに使用される光通信機器において、温度変化や経年変化などによっても所望の波長の光信号を選択することができる可変波長選択フィルタおよびこの可変波長選択フィルタを使用した分岐・挿入装置に関する。将来のマルチメディアネットワークの構築を目指し、超長距離でかつ大容量の光通信装置が要求されている。この大容量化を実現する方式として、波長分割多重(Wavelength-division Multiplexing、以下、「WDM」と略記する。)方式が、光ファイバの光帯域・大容量性を有効利用できるなどの有利な点から研究開発が進められている。特に、光通信ネットワークにおいては、ネットワーク上の各地点において必要において光信号を通過・分岐・挿入する機能、光伝送路を選択する光ルーティング、クロコネクト機能が必要である。このため、光信号を通過・分岐・挿入する分岐・挿入(Optical Add/Drop Multipl

exer) (以下、「OADM」と略記する。)装置が研究開発されている。このOADM装置は、固定波長の光信号のみを分岐・挿入することができる波長固定型のOADM装置と任意波長の光信号を分岐・挿入することができる任意波長型のOADM装置がある。一方、音響光学チューナブルフィルタ (Acousto-Optic Tunable Filter) (以下、「AOTF」と略記する。)は、選択する波長の光のみ抽出するように動作するため、AOTFを通過する光信号に対する波長特性はフラットである。そして、選択する波長が固定であるファイバグレーティングと異なり、任意に波長を選択することができる。さらに、可変波長選択フィルタでもあるので、端局間において光信号を分岐・挿入する局であるトリビュータリ局における波長選択フィルタとしても使用することができる。このような理由により、AOTFを使用したOADM装置が研究開発されている。

#### 【0002】

【従来の技術】図20は、従来のAOTFの構成を示す図である。図20において、AOTFは、圧電作用を示すニオブ酸リチウムの基板に2本の光導波路201、202を形成する。これら光導波路201、202は、互いに2箇所で交叉しており、これら2つの交叉する部分に偏光ビームスプリッタ (Polarization Beam Splitter) (以下、「PBS」と略記する。)203、204が設けられている。

【0003】また、2つの交叉する部分の間において、2本の光導波路201、202上には、金属膜のSAWガイド206が形成されている。このSAWガイド206には、櫛を交互にかみ合わせた電極 (Inter Digital Transducer) (以下、「IDT」と略記する。)205にRF信号を印加することによって発生する弾性表面波 (Surface Acoustic Wave) が伝搬する。

【0004】このAOTFに入力する入力光は、TEモードとTMモードとが混在した光であるが、PBS203によってTEモードとTMモードに分かれて光導波路201、202を伝搬する。ここで、特定の周波数のRF信号を印加することにより弾性表面波がSAWガイド206に沿って伝搬すると、SAWガイド206と交叉している部分において2つの光導波路201、202の屈折率は、周期的に変化する。このため、入力光のうち、この屈折率の周期的な変化と相互作用をする波長の光のみTEモードとTMモードとが入れ替わる。そして、この入れ替わった光は、PBS204によって進行方向が変わり、相互作用をした波長の光のみが、分岐光として選択され、相互作用をしなかった波長の光は、透過して出力光となる。

【0005】一方、挿入される挿入光も同様に、PBS203によってTEモードとTMモードとに分かれて光導波路201、202を進行し、弾性表面波と相互作用を起こし、特定の波長のみが各モードが入れ替わり、進

行方向が変わって挿入され出力光となる。このように、AOTFは、RF信号の周波数に応じた波長の光のみを選択して分岐させることができ、さらに、このRF信号の周波数を変化させることによって選択される光の波長を変えることができるから、可変波長選択フィルタとして作用する。

【0006】なお、本明細書において、図20に示すニオブ酸リチウムの基板上に形成された光を分岐・挿入 (通過) する本体部分をAOTFまたはAOTF部と称し、この本体部分に光を分岐・挿入 (通過) させるための周辺装置を付加し、これら全体を指すときは、可変波長選択フィルタと称することとする。また、AOTFは、任意波長の光を分岐・挿入することができるから、OADM装置に使用することができる。本特許出願人は、このAOTFをOADM装置に使用した発明について特願平10-090383号として既に出願している。

【0007】次に、この未公開である特願平10-090383号に記載されているOADM装置について説明する。図21は、図20に示すようなAOTFを用いたOADM装置の第1の基本構成を示す図である。図21に示すOADM装置は、8つの波長の光信号を分岐して受信処理することができ、8つの波長の光信号を生成して挿入することができる場合を示している。ここで、光信号を受信処理する各構成は、各々同一であるので1つの構成を示し、残りの構成は、省略して図示していない。また、光信号を生成する各構成も、各々同一であるので1つの構成を示し、残りの構成は、省略して図示していない。

【0008】図21において、WDM光信号は、AOTF部210に入力され、AOTF部210に印加されたRF信号の周波数に対応する波長の光信号が、AOTF部210の分岐ポートから分岐光信号として分岐する。この分岐光信号は、光を増幅する光アンプ217によって増幅された後、1×8光カプラ218に入力する。この1×8光カプラ218によって分岐光信号は、8つに分配されて分岐し、AOTF部219に入力する。したがって、分配された分岐光信号の各々には、AOTF部210によって分岐したすべての波長の光信号が含まれている。このためAOTF部219によって、光受信機220が受信処理する波長の光信号のみが選択され、光受信機220により受信処理される。

【0009】一方、挿入される挿入光信号は次のようにして生成される。光源となるレーザダイオード (以下、「LD」と略記する。)211は、挿入すべき光信号の波長に対応する波長のレーザ光を発光し、挿入する光信号の数だけ、図21では、8つ用意されている。これら8つのLDからのレーザ光は、8×8光カプラ212に入力する。8×8光カプラ212は、8つの波長の光を合波し、この合波した光を8つに分配して分岐する。分



岐した光は、光アンプ213によって増幅された後にAOTF部214に入力する。AOTF部214は、8つの波長の光が多重する光の中から挿入光信号に使用したい波長の光を選択して出力する。AOTF部214によって選択された光は、光変調器215によって変調され、光信号となり、8×1光カプラ216に入力する。この8×1光カプラ216は、各波長の光信号を合波して挿入光信号を生成する。生成した挿入光信号は、AOTF部210に挿入ポートに入力される。

【0010】挿入光信号は、上述のようにAOTF部210が所望の波長の光信号を分岐するだけでなく、分岐した波長と同一の波長の光信号を挿入するので、AOTF部210によって挿入され、分岐しないで通過するWDM光信号とともにAOTF部210の出力ポートからWDM光信号として出力される。このように、AOTFは、OADM装置のWDM信号を通過・分岐・挿入する部分、挿入光信号を生成する部分および分岐光信号を受信処理する部分に使用される。

【0011】図22は、図20に示すようなAOTF部を用いたOADM装置の第2の基本構成を示す図である。図22に示すOADM装置は、8つの波長の光信号を分岐して受信処理することができ、8つの波長の光信号を生成して挿入することができる場合を示している。ここで、光信号を受信処理する各構成は、各々同一であるので1つの構成を示し、残りの構成は、省略して図示していない。また、光信号を生成する各構成も、各々同一であるので1つの構成を示し、残りの構成は、省略して図示していない。さらに、図21と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0012】図22において、WDM光信号は、光カプラ230に入力され、この光カプラ230によってWDM光信号は、2つに分岐する。分岐したWDM信号の一方は、AOTF部231に入力し、他方は、光アンプ217に入力する。この他方のWDM光信号は、光アンプ217によって増幅され、1×8光カプラ218に入力する。そして、この1×8光カプラ218によって8つに分配されて分岐し、AOTF部219に入力する。このAOTF部219によって、光受信機220が受信処理する波長の光信号のみが選択され、光受信機220により受信処理される。

【0013】一方、AOTF部231に入力したWDM光信号は、受信処理する部分のAOTF部219と同一の光信号であってWDM光信号の偶数（奇数）のチャンネルの光信号を選択し、何処にも接続していない選択ポートに出力する。したがって、AOTF部231によって選択された波長の光信号は、捨てられる。AOTF部231を通過したWDM光信号は、AOTF部232に入力する。このAOTF部232においても、受信処理する部分のAOTF部219と同一の光信号であってWDM光信号の奇数（偶数）のチャンネルの光信号を選択し、

何処にも接続していない選択ポートに出力する。そして、AOTF部232を通過したWDM光信号は、光カプラ233に入力する。

【0014】ここで、AOTF部231、232を2段に縦続に接続したのは、AOTFの波長選択特性の幅が広く、「ITU-T G. 692 勧告」で規定される0.8nm間隔の波長の隣り合う光信号を1つのAOTFで分岐しようとする、クロストークが発生してしまうためである。このため、1段目のAOTF部231においてWDM光信号の偶数（奇数）番目の光信号を選択させ、2段目のAOTF部232においてWDM光信号の奇数（偶数）番目の光信号を選択させて、受信することができる程度にクロストークを減少させることができる。

【0015】また、挿入される挿入光信号は、図21と同様に生成されるので、その説明を省略する。生成された挿入光信号は、光カプラ233に入力され、AOTF部231およびAOTF部232を通過したWDM光信号と合波され、WDM光信号として光伝送路に送出される。このように、AOTFは、OADM装置のWDM信号を通過・分岐・挿入する部分、挿入光信号を生成する部分および分岐光信号を受信処理する部分に使用される。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】ところで、AOTFは、上述のようにRF信号の周波数に応じた波長の光のみを選択して分岐させることができるが、選択波長に対する温度依存性が高い。具体的には、同一周波数のRF信号を印加した場合に1℃温度が上昇すると選択波長が0.8nm（100GHz）変化する。

【0017】このため、AOTFを使用したOADM装置において、0.8nm間隔で波長が配置されているWDM光信号では、選択しようとしている波長の光信号に対し隣の波長の光信号を選択してしまい問題である。また、OADM装置に使用されるAOTFをすべて同一温度に管理することは難しいことから、同一波長を選択するためにすべてのAOTFに同一周波数のRF信号を印加しても同一波長の光信号を選択できないという問題がある。

【0018】さらに、このRF信号によって選択される波長は、AOTFの製造にともなう素子のバラツキや経年変化などにも敏感であるという問題もある。また、上述のようにAOTFにおける波長選択は、光をTEモードとTMモードとに分離し弾性表面波と相互作用させることによって制御していることから偏波が変化すると選択される波長が変化するという問題がある。

【0019】さらに、AOTFは、印加するRF信号の入力強度によって選択される光の強度が変化するという問題もある。このことは、図22のようなOADM装置においてAOTFによって選択ポートに出力される光の

強度が変化することになる。仮に、RF信号の入力強度が適当ではない場合には選択ポートに十分に光信号が選択されないから、選択ポートに出力することによって光信号を遮断する場合には、AOTFで遮断すべき光信号を十分に遮断（リジェクト）できないという問題となる。

【0020】そこで、請求項1ないし請求項13に記載の発明では、AOTFで使用することに好適な、温度変化や経年変化などが生じても所定波長の光信号を選択することができる可変波長選択フィルタを提供することを目的とする。請求項14に記載の発明では、AOTFで使用する

【0021】請求項15ないし請求項17に記載の発明では、温度変化や経年変化などが生じても所定波長の光信号を分岐・挿入することができるOADM装置を提供することを目的とする。請求項18、19に記載の発明では、請求項1または請求項2に記載の可変波長選択フィルタを利用することによってOADM装置などに利用されるスペクトルモニタを提供することを目的とする。

【0022】請求項20に記載の発明では、請求項1または請求項2に記載の可変波長選択フィルタを利用することによってスペクトルモニタの機能を兼ね備えたOADM装置を提供することを目的とする。

#### 【0023】

【課題を解決するための手段】（請求項1，2，3，9，10）図1は、請求項1，2，3，9，10に記載の発明の原理構成を示す図である。

【0024】図1において、本可変波長選択フィルタは、AOTF部10、光強度検出手段11、最大値判別手段12、周波数制御手段13およびRF信号発生手段14から構成されている。ここで、AOTF部10と光強度検出手段11との間にある破線で示した第3の偏光手段18は、請求項10に記載の可変波長選択フィルタの構成要件であり、請求項1，2，3，9に記載の可変波長選択フィルタの構成要件ではない。

【0025】まず、請求項1に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。入力光信号は、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐および挿入することができるAOTF部10に入力される。このAOTF部10は、請求項1，2，3に記載の可変波長選択フィルタにおいて、具体的には、受光した光信号と挿入すべき光信号とを合波するとともに合波した光信号をTMモード光とTEモード光とに分岐する第1の偏光手段と、分岐したTMモード光を導波する第1の光導波路とTEモード光を導波する第2の光導波路とにRF信号を印加するRF信号印加手段と、このRF信号を印加された第1の光導波路と第2の光導波路とからの光信号を合波するとともにRF信号に対応した波長の光信

号と他の波長の光信号とに分岐する第2の偏光手段とを備えて構成される。

【0026】この第1および第2の光導波路に印加されるRF信号は、RF信号発生手段14によって発生し、RF信号発生手段14は、最大値判別手段12および周波数制御手段13によってその周波数が制御される。また、AOTF部10によって選択された光信号は、その光強度を検出する光強度検出手段11に入力し、光強度検出手段11の出力は、最大値判別手段12に入力する。一方、AOTF部によって選択しなかった光信号は、AOTF部10から光伝送路に出力光信号として送出される。

【0027】この最大値判別手段12は、RF信号の周波数を変えながら光強度検出手段11から光信号の光強度を受信して、所定波長の光信号に対する光強度の最大値を判別し、この最大値を与えるRF信号の周波数を周波数制御手段13に出力する。この所定波長の光信号は、光伝送路中に1波しかない場合は、容易に判別できるが、WDM信号の場合には、ある閾値以上の極大値の数と所定波長の光信号のチャンネル（以下、「ch」と略記する。）数とを対応させて判別する。例えば、所定波長の光信号がch3である場合には、3番目の極大値が所定波長の光信号の極大値である。

【0028】周波数制御手段13は、所定波長の光信号に対して光強度の最大値を与える周波数のRF信号を発生するようにRF信号発生手段14を制御する。このような構成の請求項1に記載の可変波長選択フィルタにおいては、最大値判別手段12によって所定波長の光強度が最大値となるようにRF信号の周波数を制御する。このため温度変化などにより特定波長を分岐・挿入するRF信号の周波数がずれたとしても補償されるので、常に、特定波長の光信号を分岐・挿入することができる。

【0029】なお、可変波長選択フィルタによって選択する光信号の特定波長とそのために適正なRF信号の周波数を探索するための光信号の所定波長とは、同一の波長でも異なる波長でもよい。後述するように、RF信号の周波数と選択波長との関係は、温度が変化しても常に一定の関係があるから、所定波長を選択するRF信号の周波数が判れば、特定波長を選択するRF信号の周波数も判るからである。この場合には、周波数制御手段13において所定波長を選択するRF信号の周波数と特定波長を選択するRF信号の周波数との対応付けを行う。

【0030】次に、請求項2に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。請求項2に記載の可変波長選択フィルタにおいては、上述の最大値判別手段12は、RF信号の周波数を第1の周波数間隔で変えながら光強度検出手段11によって所定波長の光信号を検出して、この所定波長の光信号に対する光強度の第1の最大値を判別する。さらに、この第1の最大値を与えるRF信号の周波数の前後の周波数範囲においてRF信号の周

10

20

30

40

50

波数をその第 1 の周波数間隔より狭い第 2 の周波数間隔で変えながら光強度検出手段 11 によって所定波長の光信号を検出して、所定波長の光信号に対する光強度の第 2 の最大値を判別する。そして、この第 2 の最大値を与える RF 信号の周波数を周波数制御手段 13 に出力する。

【0031】なお、他の構成は、請求項 1 に記載の可変波長選択フィルタと同一であるので、その説明を省略する。このように初めに RF 信号の周波数を広い間隔で変化させて所定波長に対する最大値を大雑把に探す。その後、その最大値を与える RF 信号の周波数に対して、前後の周波数範囲で、RF 信号の周波数を狭い間隔で変化させて所定波長に対する最大値を正確に探す。このため、請求項 2 に記載の可変波長選択フィルタは、請求項 1 に記載の可変波長選択フィルタに較べより速くしかもより正確に最大値を判別することができるから、より速くしかもより正確に特定波長の光信号を選択することができる。

【0032】次に、請求項 3 に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。請求項 3 に記載の可変波長選択フィルタにおいて、特定波長の光信号の選択を変更する度に、周波数制御手段 13 は、この特定波長の光信号における光強度が最大値となるように RF 信号の周波数を制御する。

【0033】このように特定波長の光信号を選択する度に、特定波長の光信号を選択する RF 信号の周波数を探すから、温度変化などによって特定波長を選択する RF 信号の周波数がずれたとしても、正確に特定波長の光信号を選択することができる。次に、請求項 9 に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。請求項 9 に記載の可変波長選択フィルタにおいて、AOTF 部 10 は、RF 信号印加手段を第 1 の光導波路に第 1 の RF 信号を印加する第 1 の RF 信号印加手段と第 2 の光導波路に第 2 の RF 信号を印加する第 2 の RF 信号印加手段とで構成する。これに対応して RF 信号発生手段 14 は、それら第 1 の RF 信号印加手段と第 2 の RF 信号印加手段とに異なる周波数の RF 信号を供給するように構成する。

【0034】なお、他の構成は、請求項 1 に記載の可変波長選択フィルタと同一であるので、その説明を省略する。一般に、AOTF は、[従来の技術] の項において説明したように、TE モードと TM モードとに分かれて光導波路を進行し、弾性表面波と相互作用を起こし、特定波長の各モードが入れ替わることによって、特定波長の光を選択する。このとき、TE モードを TM モードに入れ替える最適な RF 信号の周波数と TM モードを TE モードに入れ替える最適な RF 信号の周波数とは、互いに異なる。

【0035】このため、請求項 9 に記載の可変波長選択

フィルタの構成とすることにより、各モードに対し最大値判別手段 12 において個別に RF 信号の周波数を変化させることができ、その結果に基づいて各モードに対し異なる周波数の RF 信号を印加することができるから、請求項 1 に記載の可変波長選択フィルタに較べより正確に特定波長の光信号を選択することができる。

【0036】次に、請求項 10 に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。請求項 10 に記載の可変波長選択フィルタにおいて、AOTF 部 10 は、RF 信号印加手段を第 1 の光導波路に第 1 の RF 信号を印加する第 1 の RF 信号印加手段と第 2 の光導波路に第 2 の RF 信号を印加する第 2 の RF 信号印加手段とで構成する。これに対応して RF 信号発生手段 14 は、それら第 1 の RF 信号印加手段と第 2 の RF 信号印加手段とに異なる周波数の RF 信号を供給するように構成する。

【0037】また、上述したように AOTF 部 10 と光強度検出手段 11 との間に第 3 の偏光手段 18 を設ける。この第 3 の偏光手段 18 は、AOTF 部から選択して出力される光信号を TM モードと TE モードとに分岐して光強度検出手段 11 に出力する。これに対応して光強度検出手段 11 は、第 3 の偏光手段 18 から出力される TM モードの光強度を検出する第 1 の光強度検出手段と第 3 の偏光手段 18 から出力される TE モードの光強度を検出する第 2 の光強度検出手段との 2 つの光強度検出手段で構成する。

【0038】なお、他の構成は、請求項 1 に記載の可変波長選択フィルタと同一であるので、その説明を省略する。このように構成することにより、TM モード、TE モードの各モードに対し個別に光強度検出手段 11 を備えているので、TE モードに対し最適な RF 信号の周波数と TM モードに対し最適な RF 信号の周波数とを独立に探すことができる。そのため、請求項 10 に記載の可変波長選択フィルタは、正確に特定波長の光信号を選択することができる。

【0039】一方、偏光がゆっくり回転している場合には、請求項 10 に記載の可変波長選択フィルタが有効であるが、最適な RF 信号の周波数を探すための時間よりも高速に偏光が回転している場合には、上述のように TE モードと TM モードとを分離して各光強度を検出して最適な RF 信号の周波数を探していたのでは、偏光の回転に追従できない。この場合には、請求項 9 に記載の可変波長選択フィルタの方が有利である。

【0040】ここで、請求項 1, 2, 3, 9, 10 に記載の可変波長選択フィルタにおいて、挿入すべき挿入光信号がある場合には、挿入光信号も AOTF 部 10 に入力され、AOTF 部 10 において RF 信号による弾性表面波と相互作用をして出力光信号として光伝送路に出力される。

(請求項 4 ないし請求項 6) 初めに、請求項 4 ないし請求項 6 に記載の可変波長選択フィルタに共通な事項につ

いて説明する。

【0041】図2は、温度変化に対するRF信号の周波数と選択波長との関係を示す図である。図2の縦軸は、 $\mu\text{m}$ 単位で表示したAOTFによって選択される選択波長であり、横軸は、MHz単位で表示したAOTFに印加されるRF信号の周波数である。図2において、直線Xは、温度aにおけるRF信号の周波数と選択波長との関係を示すグラフであり、直線Yは、温度bにおけるRF信号の周波数と選択波長との関係を示すグラフである。

【0042】このように、AOTFは、RF信号の周波数が同一の場合において、その温度が変化すると選択波長も、変化する。上述したように、 $1^\circ\text{C}$ の温度変化に対し0.8nmだけ選択波長は、シフトする。しかし、図2に示すように直線Xと直線Yの傾きは、温度変化に対して一定である。すなわち、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化は、温度変化に対して一定である。

【0043】この事実は、請求項4ないし請求項6に限らず、すべてのAOTFに共通の事実である。請求項4ないし請求項6に記載の可変波長選択フィルタは、特定波長を選択する際に、この物理現象を利用して温度変化を補償するものである。すなわち、RF信号の周波数と選択波長との関係は、直線であってしかも温度変化に対してその傾きが一定であるので、特定波長を選択する際の温度においてRF信号の周波数と選択波長との関係がいずれか一点だけ判れば直線が引けるから、その温度における任意の波長を選択するRF信号の周波数が判る。よって、特定波長を選択するRF信号の周波数も判ることになる。

【0044】次に、請求項4、5に記載の可変波長選択フィルタについて説明する。図3は、請求項4、5に記載の発明の原理構成を示す図である。図4は、基準信号とWDM光信号との関係を示す図である。図4(a)は、基準信号が1つである場合を示す図であり、図4(b)は、基準信号が2つである場合を示す図である。

【0045】図3および図4において、本可変長選択フィルタは、基準信号挿入手段20、AOTF部10、基準信号検出手段21、周波数演算手段23およびRF信号発生手段24から構成される。まず、請求項4に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。入力光信号は、この入力光信号の波長を除いた波長であってその波長数が既知である基準信号を入力光信号に挿入する基準信号挿入手段20に入力される。

【0046】ここで、基準信号は、図4(a)に示すように、32波のWDM光信号の信号波長帯から離れた位置であってチャンネル(以下、「ch」と略記する。)1の外側の波長に1つ配置される。もちろん、ch1の外側の波長に配置する代わりに基準信号を破線で示すようにch32の外側の波長に1つ配置してもよい。ま

た、基準信号は、図4(b)に示すように、32波のWDM光信号の信号波長帯から離れた位置であってch1の外側の波長(第1の基準信号)とch32の外側の波長(第2の基準信号)とに2つ配置される。

【0047】この基準信号とともに入力光信号は、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を選択することができるAOTF部10に入力される。このAOTF部10は、請求項1に記載の可変波長選択フィルタと同様であるのでその説明を省略する。このAOTF部10の第1および第2の光導波路に印加されるRF信号は、RF信号発生手段24によって発生し、RF信号発生手段24は、周波数演算手段23によってその周波数が制御される。

【0048】また、AOTF部10によって分岐した光信号は、基準信号を検出する基準信号検出手段21に入力される。一方、AOTF部によって分岐しなかった光信号は、AOTF部10から光伝送路に出力光信号として送出される。この基準信号検出手段21の出力は、周波数演算手段23に入力され、周波数演算手段23は、RF信号発生手段24によって発生するRF信号の周波数を変えながら基準信号検出手段21が基準信号を検出した場合におけるRF信号の周波数と基準信号の波長数とに基づいて可変波長選択フィルタによって選択される光信号の波長数とRF信号の周波数との関係を演算する。

【0049】このような構成の請求項4に記載の可変波長選択フィルタにおいては、周波数演算手段23によってRF信号の周波数を基準信号検出手段21が基準信号を検出するまで変化させる。そして、周波数演算手段23は、基準信号検出手段21から出力を受信したときのRF信号の周波数と基準信号の波長とからRF信号の周波数と選択波長との関係を演算する。

【0050】この演算方法は、基準信号が図4(a)のように1つである場合には、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値を記憶しておき、その傾きの値および1組の判別されたRF信号の周波数と基準信号の波長との値から、RF信号の周波数と選択波長との関係を演算する。そして、この基準信号の波長とch1の波長との差および各ch間の波長差も判るので、各chを選択するRF信号の周波数も演算することができる。

【0051】また、基準信号が、図4(b)のように2つである場合には、2組の判別されたRF信号の周波数と基準信号の波長との値から、RF信号の周波数と選択波長との関係を演算する。そして、第1の基準信号の波長とch1の波長との差、第2の基準信号の波長とch32の波長との差および各ch間の波長差も判るので、各chを選択するRF信号の周波数も演算することができる。

【0052】こうしてある温度におけるRF信号の周波数と選択波長との関係が判別されるので、温度変化など

により特定波長を分岐・挿入するRF信号の周波数がずれたとしてもその特定波長の光信号を選択することができる。次に、請求項5に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。請求項5に記載の可変波長選択フィルタは、請求項4に記載の可変波長選択フィルタにおいて、基準信号の波長数は、光信号を伝送する波長帯域の端の波長数に配置される。

【0053】光通信ネットワークにおいては、光信号を伝送する波長帯域に応じて、S+バンド(1450nm~1490nm)、Sバンド(1490nm~1530nm)、Mバンド(1530nm~1570nm)、Lバンド(1570nm~1610nm)およびL+バンド(1610nm~1650nm)がある。これら各バンドに応じて光信号を増幅する光増幅器が使用されるが、この光増幅器の利得特性は、バンド全体に亘って平坦な利得特性ではなく、各バンドの境界付近において利得が急激に減少する。そのため、各バンドの境界付近の波長には光信号を配置しないので、ここに基準信号を配置することにより、基準信号をこれを使用する可変波長選択フィルタだけにどめ、他の可変波長選択フィルタに影響しないようにすることができる。特に、光通信ネットワークの光伝送路に配置される中継光増幅器によって基準信号は、増幅されないので、この可変波長選択フィルタを使用したOADM装置だけに基準信号をとどめ光通信ネットワーク内に送出しないようにすることができる。

【0054】次に、請求項6に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。図5は、請求項6に記載の発明の原理構成を示す図である。図6は、ASEの雑音とWDM光信号との関係を示す図である。図5および図6において、本可変波長選択フィルタは、光増幅器30、AOTF部10、スペクトルモニタ31、波長判別手段32、周波数演算手段33およびRF信号発生手段34から構成される。

【0055】入力光信号は、この入力光信号を含む波長帯域を増幅する光増幅器30に入力される。一般に、光増幅器の増幅媒質中で自然放出光が発生し、この自然放出光は、増幅すべき光信号と同じように増幅され白色雑音となる。これをASE(Amplified Spontaneous Emission)という。入力光信号は、図6に示すようにこのASEを含む光信号となる。

【0056】このASEを含んだ入力光信号は、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を選択することができるAOTF部10に入力される。このAOTF部10は、請求項1に記載の可変波長選択フィルタと同様であるのでその説明を省略する。このAOTF部10の第1および第2の光導波路に印加されるRF信号は、RF信号発生手段34によって発生し、RF信号発生手段34は、波長判別手段32および周波数演算手段33によってその周波数が制御される。

【0057】AOTF部10によって選択しなかった光信号は、光信号の波長とこの波長における光強度とを監視するスペクトルモニタ31に入力される。なお、AOTF部10によって選択した光信号がスペクトルモニタ31に入力される場合については、後述する。波長判別手段32は、伝送する光信号の波長を分岐させない周波数であって光増幅器で発生したASEのうちいずれかの波長を分岐させる既知の周波数のRF信号を発生させ、スペクトルモニタ31からの出力によってASEの波長を検出する。既知の周波数のRF信号をAOTF部10に印加するとそれに対応する波長のASEが選択されるので、図6に示すように、選択された部分のASEの光強度が減少して窪みを作る。この窪みを波長判別手段32によって検出することによって1組のRF信号の周波数と選択波長との関係を判別することができる。

【0058】波長判別手段32によって判別された1組のRF信号の周波数と選択波長との関係は、周波数演算手段33に出力され、周波数演算手段33は、この1組の値に基づいて可変波長選択フィルタによって選択される光信号の波長数とRF信号の周波数との関係を演算する。この演算方法は、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値を記憶しておき、その傾きの値および1組の判別されたRF信号の周波数とASEの波長との値から、RF信号の周波数と選択波長との関係を演算する。

【0059】このように構成することにより、ある温度におけるRF信号の周波数と選択波長との関係が判別されるので、温度変化などにより特定波長を選択するRF信号の周波数がずれたとしてもその特定波長の光信号を選択することができる。次に、請求項7に記載の可変波長選択フィルタの原理について説明する。図7は、請求項7に記載の発明の原理構成を示す図である。

【0060】図7において、本可変波長選択フィルタは、AOTF部10、スペクトルモニタ41、周波数演算手段43およびRF信号発生手段44から構成される。入力光信号は、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を選択することができるAOTF部10に入力される。このAOTF部10は、請求項1に記載の可変波長選択フィルタと同様であるのでその説明を省略する。このAOTF部10の第1および第2の光導波路に印加されるRF信号は、RF信号発生手段44によって発生し、RF信号発生手段44は、周波数演算手段43によってその周波数が制御されるとともに印加しているRF信号の周波数を周波数演算手段43に出力する。

【0061】AOTF部10によって選択しなかった光信号は、光信号の波長とこの波長における光強度とを監視するスペクトルモニタ41に入力される。周波数演算手段43は、RF信号発生手段44からAOTF部10に印加しているRF信号の周波数を監視するとともにスペクトルモニタ41から出力される光信号の波長とこの



波長における光強度とを受信する。

【0062】WDM光信号の各chの波長が判っているので、スペクトルモニタ41の出力からどのchがAOTF部10によって選択されたか判別することができる。こうして周波数演算手段43は、判別された1組のRF信号の周波数と選択波長とに基づいて可変波長選択フィルタによって選択される光信号の波長数とRF信号の周波数との関係を演算することができる。

【0063】この演算方法は、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値を記憶しておき、その傾きの値および1組の判別されたRF信号の周波数と選択波長の波長との値から、RF信号の周波数と選択波長との関係を演算する。このように構成することにより、ある温度におけるRF信号の周波数と選択波長との関係が判別されるので、温度変化などにより特定波長を選択入するRF信号の周波数がずれたとしてもその特定波長の光信号を選択することができる。

【0064】(請求項8)請求項8に記載の可変波長選択フィルタは、受光した光信号と挿入する光信号とを合波するとともに合波した光信号をTMモード光とTEモード光とに分岐する第1の偏光手段と、この第1の偏光手段によって分岐したTMモード光を導波する第1の光導波路に第1のRF信号を印加する第1のRF信号印加手段と、第1の偏光手段によって分岐したTEモード光を導波する第2の光導波路に第2のRF信号を印加する第2のRF信号印加手段と、第1のRF信号を印加された第1の光導波路と第2のRF信号を印加された第2の光導波路とからの光信号を合波するとともに送出すべき光信号と分岐すべき光信号とに分岐する第2の偏光手段とを備えて構成され、第1のRF信号の周波数および第2のRF信号の周波数とに応じて特定波長の光信号を選択する。

【0065】上述したように、TEモードをTMモードに入れ替える最適なRF信号の周波数とTMモードをTEモードに入れ替える最適なRF信号の周波数とは、互いに異なるが、このような構成とすることにより、TEモード、TMモードの各モードに対し異なる周波数のRF信号を印加して細かい調整をすることができるから、正確に特定波長の光信号を分岐・挿入することができる。

【0066】(請求項11および請求項12)請求項11および請求項12は、RF信号の安定化に関する技術で以下その動作は、トラッキングと称する。後に述べるスキャンニングと区別するため、スキャンニングとトラッキングについて定義する。スキャンニングとは、光強度の最大値を与えるRF信号の周波数を判別するために、RF信号の周波数を第1の周波数間隔で変えながら光強度検出手段によって所定波長の光信号を検出し、その光強度が最大となる第1の最大値を判別する動作をいう。

【0067】トラッキングとは、前後の周波数範囲( $\pm \alpha \text{ kHz}$ )においてRF信号の周波数をその第1の周波数間隔よりも狭い第2の周波数間隔で変えながら光強度検出手段によって所定波長の光信号を検出し、その光強度が最大となる第2の最大値を判別し、その第2の最大値を与えるRF信号の周波数を周波数制御手段に出力する動作を定期的に行い、温度変化や経年変化など周囲の環境が変化し、可変波長選択フィルタ(AOTF)の特性変化により第2の最大値を与えるRF信号の周波数が変化しても、追従することのできる動作をいう。

【0068】図8は、請求項11、12に記載の発明の原理構成を示す図である。なお、図8は、請求項1を基本とした請求項11に記載の発明の原理構成を示す図であり、この場合について以下に説明し、請求項4、6、7、8を基本とした請求項11に記載の発明については、その説明を省略する。図8において、本可変波長選択フィルタは、AOTF部10、光強度検出手段51、最大値判別手段12、周波数制御手段13、重畳手段50、トラッキング手段52およびRF信号発生手段54から構成されている。なお、請求項1と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0069】入力光信号は、AOTF部10に入力され、このAOTF部10によって選択した光信号は、その光強度を検出する光強度検出手段51に入力し、光強度検出手段51の出力は、最大値判別手段12およびトラッキング手段52に入力する。一方、AOTF部によって選択しなかった光信号は、AOTF部10から光伝送路に出力光信号として送出される。

【0070】このAOTF部10の第1および第2の光導波路に印加されるRF信号は、RF信号発生手段54によって発生し、トラッキングを行う場合には、RF信号に10kHzから1MHzの周波数の変調信号が重畳手段50によって重畳される。また、RF信号発生手段54は、最大値判別手段12、周波数演算手段13およびトラッキング手段52によってその周波数が制御される。

【0071】最大値判別手段12の出力は、周波数制御手段13に入力され、請求項1の原理説明で説明したように、特定波長を選択するようにRF信号の周波数を制御する。そして、トラッキング手段52は、光強度検出手段51によってAOTF部10から分岐して出力される光信号からRF信号に重畳された変調信号を検出して所定波長の光信号の光強度が最大値に維持されるようにRF信号発生手段54を制御する。

【0072】このように構成することにより、請求項11に記載の可変波長選択フィルタは、一度、特定波長の光信号を選択するRF信号の周波数が判別された後は、トラッキングによって最適なRF信号の周波数が制御され、維持される。さらに、トラッキングのための変調信号は、10kHzから1MHzの周波数のいずれかの周

波数とする。LN変調器の可変バイアスコントロール

(ABC)回路における光信号には既に1kHzの変調信号がかけられているが、トラッキングのための変調信号は、10kHz以上とするので、このABC回路の変調信号と混同することがない。一方、トラッキングのための変調信号は、1MHz以下とするので、例えば、RF信号発生手段54内におけるPLL回路の周波数データを正弦波となるようにCPUによって制御してその変調信号を発生させても、高速な変調、同期検波ではないから、CPUの負担となることがない。

【0073】次に、請求項12に記載の可変選択波長フィルタの原理について説明する。請求項12に記載の可変波長選択フィルタは、波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続され、可変長選択フィルタは、請求項11に記載の可変波長選択フィルタであって、トラッキング手段によって制御されるRF信号発生手段が発生するRF信号の周波数は、波長分割多重方式の光信号間隔に対応するRF信号の周波数の範囲内で変化するようにする。

【0074】トラッキングをかける場合にトラッキングのための変調信号の周波数を大きく振ると隣接するchに影響を与えてしまう。しかし、このようにすることにより、大きく外れた周波数が印加されることがないから、他のchに影響を与えることがない。例えば、0.8nm間隔のWDM光信号の場合では、隣接するch間に対するRF信号の周波数の差は、90kHzであるから、±45kHz以下の周波数でトラッキングを行う。

【0075】(請求項13)請求項13に記載の可変波長選択フィルタは、同一基板上に複数形成され、この複数の可変波長選択フィルタの温度を同一に制御する温度制御手段をさらに備えて構成され、可変長選択フィルタが、請求項1、4、6、7、8のいずれか1項に記載の可変波長選択フィルタである。

【0076】OADM装置に使用されるAOTFは、従来個別に温度制御を行っているが、すべてのAOTFを0.1℃単位で同一温度に制御することは困難をとまなう。また、OADM装置の動作を保証するために広い温度範囲、例えば、0℃ないし60℃に亘ってAOTFの温度を正確に制御することは困難を伴う。しかし、AOTFを同一の基板上に形成することにより、隣り合うAOTFをほぼ同一の温度に制御することができ、しかもAOTFの特性もほぼ同一にすることができる。そのため、まず、請求項1ないし請求項12のいずれか1項に記載の可変波長選択フィルタによって所望の波長の光信号を分岐・挿入できるようにしてから、他のAOTFを動作させるようにすれば、他のAOTFにおいても所望の波長の光信号を分岐・挿入することができる。

【0077】また、請求項1、4、6、7、8のいずれか1項に記載の可変波長選択フィルタの出力を光通信ネットワークの光伝送路に接続しないで、所望の波長の光

信号を選択できるか否かの確認専用とし、他のAOTFを実際の運用用とすれば、誤った波長の光信号を選択することがない。

(請求項14)図9は、請求項14に記載の発明の原理構成を示す図である。なお、図9は、請求項1を基本とした請求項14に記載の発明の原理構成を示す図であり、この場合について以下に説明し、請求項4、6、7、8を基本とした請求項14に記載の発明については、その説明を省略する。

10 【0078】図10は、RF信号の入力強度とリジエクシオンレベルとの関係を示す図である。図10の縦軸は、(リジエクシオン光の光強度/入力光の光強度)をdB単位で表示したリジエクシオンレベルであり、横軸は、dBm単位で表示したRF信号の入力強度である。図10に示すようにAOTFによって選択する光の強度であるリジエクシオンレベルは、RF信号の入力強度に依存し、特定の入力強度の場合に極大値になる。なお、この特性は、RF周波数を変化させてもほぼ同様の特性となる。

20 【0079】図9および図10において、本可変波長選択フィルタは、AOTF部10、光強度検出手段61、最大値判別手段12、強度最大値判別手段62、周波数制御手段63およびRF信号発生手段64から構成されている。なお、請求項1と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

30 【0080】入力光信号は、AOTF部10に入力され、このAOTF部10によって選択した光信号は、その光強度を検出する光強度検出手段61に入力し、光強度検出手段61の出力は、最大値判別手段12および強度最大値判別手段62に入力する。一方、AOTF部によって選択しなかった光信号は、AOTF部10から光伝送路に出力光信号として送出される。

40 【0081】また、このAOTF部10の第1および第2の光導波路に印加されるRF信号は、RF信号発生手段64によって発生し、RF信号発生手段64は、最大値判別手段12、強度最大値判別手段62および周波数演算手段63によってその周波数が制御される。最大値判別手段12の出力は、周波数制御手段63に入力され、請求項1の原理説明で説明したように、特定波長を選択するようにRF信号の周波数をまず制御する。

【0082】そして、強度最大値判別手段62は、この光強度の最大値を与えるRF信号の周波数を維持した状態で、RF信号発生手段64により発生するRF信号の出力強度を変えながら光強度検出手段11によって所定波長の光信号を検出して、この所定波長の光信号に対する光強度の最大値を判別する。周波数制御手段63は、強度最大値判別手段62からこの最適なRF信号の入力強度の値を受信し、最適なRF信号の周波数と入力強度とによりRF信号発生手段を制御する。

50 【0083】こうして図10に示すリジエクシオンレベ

ルの極大値を与える RF 信号の入力強度を判別することができるから、請求項 14 に記載の可変波長選択フィルタは、特定波長を分岐・挿入する RF 信号の周波数だけでなく、RF 信号の入力強度も最適化することができる。

【0084】（請求項 15）請求項 15 に記載の OADM 装置は、波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続されるとともに、印加する RF 信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐及び挿入する可変波長選択フィルタと、前記可変波長選択フィルタに印加する前記 RF 信号を発生する RF 信号発生手段と、前記可変波長選択フィルタによって分岐した光信号を受信処理する受信処理手段と、前記可変波長選択フィルタに挿入する光信号を生成する光信号生成手段とを備える OADM 装置において、可変波長選択フィルタは、 $n$  個の光信号を分岐または挿入することができ、RF 信号発生手段は、 $(n+1)$  個であることで構成する。

【0085】OADM 装置で複数の波長の光信号を分岐・挿入する場合には、可変波長選択フィルタに分岐・挿入する光信号の数に応じた複数の RF 信号を印加する。RF 信号発生手段が分岐・挿入する光信号と同数であると、ある  $ch$  から他の  $ch$  を分岐・挿入する場合に、使用していない RF 信号発生手段がないから、ある  $ch$  を分岐・挿入するのに使用した RF 信号発生手段を他の  $ch$  を分岐・挿入するのに使用しなければならない。そのため、ある  $ch$  から他の  $ch$  を分岐・挿入するために RF 信号の周波数を連続的に変化させなければならないから、その間の  $ch$  も分岐・挿入することになりその間の  $ch$  に影響を与える。しかし、このように RF 信号発生手段を OADM 装置において分岐・挿入する数より 1 つ多く備えることにより、ある  $ch$  から他の  $ch$  を分岐・挿入する場合に使用していない RF 信号発生手段の周波数を他の  $ch$  を分岐・挿入する周波数に合わせてから可変波長選択フィルタに印加することができる。このため、その間の  $ch$  に影響を与えることがない。

【0086】（請求項 16）請求項 16 に記載の OADM 装置は、波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続されるとともに、印加する RF 信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐及び挿入する第 1 の可変波長選択フィルタと、前記第 1 の可変波長選択フィルタによって分岐した光信号の中から所定波長の光信号を選択する第 2 の可変波長選択フィルタを備えるとともに該第 2 の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光信号を受信処理する受信処理手段と、複数の波長を持つ光から所定波長の光を選択する第 3 の可変波長選択フィルタを備えるとともに該第 3 の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光を変調して前記第 1 の可変波長選択フィルタに挿入する光信号を生成する光信号生成手段とを備える OADM 装置において、第 1 ないし第 3 の可変波長選択フィルタのうち少な

くとも 1 つは、請求項 1、4、6、7、8 のいずれか 1 項に記載の可変波長選択フィルタである。

【0087】請求項 16 に記載の OADM 装置は、このように OADM 装置に使用される可変波長選択フィルタを温度変化などにより特定波長の光信号を分岐・挿入する RF 信号がずれたとしてもそのずれを補償する請求項 1 ないし請求項 14 に記載の可変波長選択フィルタとするので、常に、正確に特定波長の光信号を分岐・挿入することができる。

【0088】さらに、請求項 16 に記載の OADM 装置は、トラッキングも行う可変波長選択フィルタを使用する場合には、一旦特定波長の光信号を分岐・挿入する RF 信号の周波数が判別されれば、常に特定波長を分岐・挿入するように RF 信号の周波数を維持することができる。

（請求項 17）請求項 17 に記載の OADM 装置は、波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続されるとともに、印加する RF 信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐及び挿入する第 1 の可変波長選択フィルタと、前記第 1 の可変波長選択フィルタによって分岐した光信号の中から所定波長の光信号を選択する第 2 の可変波長選択フィルタを備えるととともに該第 2 の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光信号を受信処理する受信処理手段と、複数の波長を持つ光から所定波長の光を選択する第 3 の可変波長選択フィルタを備えるととともに該第 3 の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光を変調して前記第 1 の可変波長選択フィルタに挿入する光信号を生成する光信号生成手段とを備える OADM 装置において、第 1 の可変波長選択フィルタは、請求項 1、4、6、7、8 のいずれか 1 項に記載の可変波長選択フィルタであって請求項 1、4、6、7、8 の可変波長選択フィルタを複数個縦続に接続する。

【0089】このような可変波長選択フィルタでは、1 つの可変波長選択フィルタの AOTF 部では特定波長の光信号を所定の光強度のレベルまで遮断することができない場合でも、可変波長選択フィルタを複数個縦続に接続するので、所定のレベルまで遮断することができるようにリジクション特性を改善することができる。また、前述したように可変波長選択フィルタの AOTF 部の波長選択特性の幅が広く、「ITU-T G. 692 勧告」で規定される 0.8 nm 間隔の波長の隣り合う光信号を 1 つの AOTF で分岐しようとする、クロストークが発生してしまう。しかし、請求項 17 に記載の OADM 装置では、可変波長選択フィルタを複数個の縦続接続とするので、1 段目の可変波長選択フィルタにおいて WDM 光信号の  $k$  番目の光信号を分岐・挿入させ、2 段目の可変波長選択フィルタにおいて  $k$  番目から離れた WDM 光信号の  $m$  番目の光信号を分岐・挿入させ、以下同様に前段の可変波長選択フィルタにおいて分岐・挿入



する光信号とは離れた波長の光信号を後段の可変波長選択フィルタに分岐・挿入させることにより、クロストークを減少させることができる。

【0090】例えば、可変波長選択フィルタを2個の縦続接続とした場合には、1段目の可変波長選択フィルタにおいてWDM光信号の偶数（奇数）番目の光信号を分岐・挿入させ、2段目の可変波長選択フィルタにおいてWDM光信号の奇数（偶数）番目の光信号を分岐・挿入させることにより、クロストークを減少させることができる。

【0091】さらに、請求項17に記載のOADM装置は、縦続接続する可変波長選択フィルタを温度変化などにより特定波長の光信号を分岐・挿入するRF信号がずれたとしてもそのずれを補償する請求項1ないし請求項14に記載の可変波長選択フィルタとするので、常に、正確に特定波長の光信号を分岐・挿入することができる。

【0092】また、請求項17に記載のOADM装置は、トラッキングも行う可変波長選択フィルタを使用する場合には、一旦特定波長の光信号を分岐・挿入するRF信号の周波数が判別されれば、常に特定波長を分岐・挿入するようにRF信号の周波数を維持することができる。

（請求項18および請求項19）図11は、請求項18、19に記載の発明の原理構成を示す図である。

【0093】図11において、本スペクトルモニタは、AOTF部10、光強度検出手段11、最大値判別手段12、周波数制御手段13、RF信号発生手段14および記憶手段70から構成されている。ここで、AOTF部10から光伝送路に送出される前に接続される破線で示した遮断手段71は、請求項19に記載のスペクトルモニタの構成要件であり、請求項18に記載のスペクトルモニタの構成要件ではない。また、請求項1と同一の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0094】まず、請求項18に記載のスペクトルモニタについて説明する。入力光信号は、AOTF部10に入力され、このAOTF部10によって分岐した光信号は、光強度検出手段61に入力する。この光強度検出手段61の出力は、最大値判別手段12に入力する。一方、AOTF部10によって分岐しなかった光信号は、AOTF部10から光伝送路に出力光信号として送出される。

【0095】また、このAOTF部10の第1および第2の光導波路に印加されるRF信号は、RF信号発生手段14によって発生し、RF信号発生手段14は、最大値判別手段12および周波数制御手段13によってその周波数が制御される。最大値判別手段12の出力は、周波数制御手段63に入力され、周波数制御手段63は、請求項1の原理説明で説明したように、特定波長を分岐

・挿入するようにRF信号の周波数を制御する。

【0096】また、最大値判別手段12は、RF信号発生手段で発生させたすべての周波数の値と各周波数に対応する光強度の値とを記憶手段70に出力し、記憶手段70は、これらのすべての値を記憶する。このように構成することにより、最大値判別手段12において、所定波長の光信号を分岐・挿入するRF信号の周波数の組が1つ判るので、前述した図2に示すRF信号と選択波長との関係を用いれば、記憶手段70に記憶した値から、各光信号の波長に対する光強度も判別することができる。

【0097】次に、請求項19に記載のスペクトルモニタの原理について説明する。請求項19に記載のスペクトルモニタは、請求項18に記載のスペクトルモニタにおいて、送出すべき光信号を出力する出力側に接続されるとともに該光信号を遮断する遮断手段をさらに備えて構成する。スペクトルモニタによって分岐しなかった光信号は、スペクトルモニタに接続される光装置、例えば、次のトリビュタリ局やノードに送出されてしまう。特に、スペクトルモニタをOADM装置の光信号生成手段に使用した場合には、OADM装置の分岐・挿入を行うAOTF部においてスペクトルモニタによって分岐しなかった光信号と光伝送路から入力した光信号との間でクロストークを生じてしまう。

【0098】しかし、このように構成することにより、スペクトルモニタによって分岐しなかった光信号は、遮断されるので、そのような不都合は生じない。遮断手段は、光減衰器を使用することができる。光スイッチを使用してこの光スイッチにおいて何も接続していない出力へスイッチすることにより遮断することができる。光アンプを使用してこの光アンプの励起光を与えないことにより遮断することができる。また、光変調器を使用してこの光変調器の電源を切ることにより遮断することができる。さらに、AOTFを使用してこのAOTFにおいて光信号の波長から離れた波長の光を選択するようにして遮断することができる。

【0099】（請求項20）請求項20に記載のOADM装置は、波長分割多重方式の光信号を伝送する光伝送路に接続されるとともに、印加するRF信号の周波数に応じて特定波長の光信号を分岐及び挿入する第1の可変波長選択フィルタと、前記第1の可変波長選択フィルタによって分岐した光信号の中から所定波長の光信号を選択する第2の可変波長選択フィルタを備えとともに該第2の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光信号を受信処理する受信処理手段と、複数の波長を持つ光から所定波長の光を選択する第3の可変波長選択フィルタを備えとともに該第3の可変波長選択フィルタによって選択された前記所定波長の光を変調して前記第1の可変波長選択フィルタに挿入する光信号を生成する光信号生成手段とを備えるOADM装置におい

て、第1ないし第3の可変波長選択フィルタのうち少なくとも1つは、請求項18または請求項19に記載のスペクトルモニタであって、第1ないし第3の可変波長選択フィルタのうち少なくとも1つを可変波長選択フィルタとして使用するかまたはスペクトルモニタとして使用するかを制御する選択制御手段とをさらに備えて構成し、第1ないし第3の可変波長選択フィルタのうち少なくとも1つは、可変波長選択フィルタとスペクトルモニタとしての機能を兼ね備える。

【0100】このように構成することにより、請求項20に記載のOADM装置は、可変波長選択フィルタとスペクトルモニタとしての機能を兼ね備えることができる。

【0101】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明における実施の形態を説明する。

【0102】（第1の実施形態）第1の実施形態は、請求項1～5、11、12、14～20に記載の発明を適用して構成された可変波長選択フィルタ・OADM装置の実施形態である。

【0103】図12は、第1の実施形態におけるOADM装置の構成を示す図である。図12において、OADM装置は、3つの構成部分に大きく分けることができる。第1の構成部分は、光伝送路を伝送する32波のWDM光信号から必要に応じて分岐した特定波長の光信号を受信処理する受信処理部分である。第2の部分は、受信処理部分に分岐した光信号と同一波長の光信号を光伝送路から取り除き、次のノードに伝送されることを遮断するリジェクト部分である。第3の構成部分は、WDM光信号の空いているchに光信号を生成して挿入する挿入部分である。なお、受信処理部分、リジェクト部分および挿入部分は、それぞれ16波を処理することができる。

【0104】このようにOADM装置は、3つの構成部分から成り立ち、各構成部分に本発明に係る可変波長選択フィルタが使用されているので、以下、各構成部分ごとに説明する。

（第1の実施形態におけるリジェクト部分の構成）まず、このリジェクト部分について説明する。

【0105】図13は、第1の実施形態におけるOADM装置に関し、そのリジェクト部分の構成を示す図である。図12および図13において、光伝送路を伝送してきた32波のWDM光信号は、光強度を増幅する光増幅器80に入射する。このWDM光信号の各ch間隔は、「ITU-T G.692勧告」の規定に従い0.8nmである。増幅されたWDM光信号は、2つに光を分岐する光カプラ81に入射する。分岐したWDM光信号の一方は、後述する受信処理部分の光カプラ110に入射し、他方は、光カプラ83に入射する。

【0106】一方、基準信号光源82は、後述するAO

TF部84、90におけるRF信号の周波数と選択波長との関係を判別するための第1基準信号と第2基準信号とを発生させ、これらの基準信号を光カプラ83、89に入射させる。これらの基準信号は、WDM光信号に使用される波長を除いた波長であればよいが、WDM光信号と混同しないためには、WDM光信号の波長帯域の両側の波長とするのが望ましい。さらに、WDM光信号の波長帯域がMバンドの場合には、これらの基準信号を使用するAOTF84、90にとどめ光伝送路に送出させないために、Mバンドの端の波長を使用し、第1基準信号は、1530～1535nmの間の波長、例えば、1530nmとする。また、第2基準信号は、1565nm～1570nmの間の波長、例えば、1570nmとする。これらの基準信号をこのような波長とすることにより、これら基準信号は、通常Mバンドに対して使用される中継光増幅器の利得傾斜の部分に配置されるので、仮にOADM装置から送出されたとしても光通信ネットワークを伝送する間に減衰してしまう。

【0107】光カプラ83は、基準信号光源82からの第1基準信号および第2基準信号と光カプラ81から入射したWDM光信号とを合波して、この合波した光信号をAOTF部84に入射させる。AOTF部84は、RF信号を発生するRF信号源88によって印加されたRF信号の周波数に対応して特定の波長の光信号を入射した光信号から選択して分岐し、選択されなかった光信号を通過させる。この分岐した光信号は、その光信号を受光して光強度を検出するフォトダイオード（以下、「PD」と略記する。）85に入射する。

【0108】このPD85は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D86に出力する。A/D86は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換してリジェクト側AOTF制御CPU87に送信する。リジェクト側AOTF制御CPU87は、各種データを蓄積したEEPROM（Electric Erasable Programable Read Only Memory）101からデータの送受信を行い、AOTF部84、90やRF信号源88、98などを後述するように制御する。

【0109】また、RF信号源88は、このリジェクト側AOTF制御CPU87によって発生するRF信号の周波数とパワー（強度）とを制御される。RF信号源88は、リジェクトするchをあるchから他のchに変える場合にその間のchに影響を与えないようにするため、16波より1つ多い17個のRF信号源が用意されている。

【0110】EEPROM101は、第1基準信号スキャン開始RF周波数、第1基準信号スキャン終了RF周波数、第2基準信号スキャン開始RF周波数、第2基準信号スキャン終了RF周波数、基準信号スキャン間隔、周波数トラッキング間隔、基準信号スキャン開始RFパワー、基準信号スキャン終了パワー、パワースキャン間

隔、パワートラッキング間隔、基準信号捕捉用閾値など蓄積する。

【0111】一方、AOTF部84を通過した光信号は、光カプラ89に入射し、この光カプラ89によって基準信号光源82から入射した第1基準信号および第2基準信号と再度合波される。再度合波するのは、AOTF部84によってこれらの基準信号が選択されて分岐した場合に次段のAOTF部90に入射されない虞があるからである。

【0112】合波された光信号は、AOTF部90に入射される。このAOTF部90は、RF信号を発生するRF信号源98によって印加されたRF信号の周波数に対応して特定の波長の光信号を入射した光信号から選択して分岐し、選択されなかった光信号を通過させる。この分岐した光信号は、その光信号を受光して光強度を検出するPD95に入射する。

【0113】このPD95は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D96に出力する。A/D96は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換してリジェクト側AOTF制御CPU87に送信する。また、RF信号源98は、このリジェクト側AOTF制御CPU87によって発生するRF信号の周波数とパワー（強度）とが制御される。

【0114】一方、AOTF部90を通過したWDM光信号は、2つに光を分岐する光カプラ91に入射し、分岐した一方のWDM光信号は、AOTF部84、90によって所望の光信号がリジェクトされた否か確認するため、光スイッチ（以下、「光SW」と略記する。）97を介して光の波長とその光強度とを監視するスペクトルモニタ99に入力され、OADM装置制御CPU100によって確認される。確認の結果、所望の光信号がリジェクトされていない場合には、OADM装置制御CPU100は、リジェクト側AOTF制御CPU87に警告を送信して、再度リジェクトさせる。

【0115】光SW97は、スペクトルモニタ99によって光SW97に入射するいずれの光信号をスペクトルモニタ99に入射させるか制御され、指示された光信号をスペクトルモニタ99に入射させる。スペクトルモニタ99は、検出した光の波長とその光強度のデータをOADM装置制御CPU100に出力する。OADM装置制御CPU100は、スペクトルモニタ99からのデータに従ってリジェクト側AOTF制御CPU97、分岐側AOTF制御CPU123および挿入側AOTF制御CPU145を制御する。その各制御は、上述の確認のほか以下の記載で順次明らかになる。

【0116】また、光カプラ91によって分岐した他方のWDM光信号は、光カプラ92に入射し、この光カプラ92によって後述する挿入部分で生成された光信号と合波される。合波されたWDM光信号は、光強度を増幅する光増幅器93に入射し、増幅されて光カプラ94に

入射する。光カプラ94は、このWDM光信号を2つに分岐する。分岐した一方のWDM光信号は、光伝送路に送出される。分岐した他方のWDM光信号は、光カプラ92によって挿入部分によって生成された光信号が合波されたか否か確認をするために、光SW97を介してスペクトルモニタ99に入力され、OADM装置制御CPU100によって確認される。確認の結果、所望の光信号が合波されていない場合には、OADM装置制御CPU100は、挿入側AOTF制御CPUに警告を送信して、再度挿入すべき光信号を生成させる。

【0117】（本発明と第1の実施形態におけるリジェクト部分との対応関係）以下、本発明と第1の実施形態におけるリジェクト部分との対応関係について説明する。請求項1ないし請求項3については、後述する受信処理部分における構成を説明するときに対応関係を説明する。

【0118】請求項4、5に記載の可変波長選択フィルタと第1の実施形態との対応関係については、RF信号発生手段はRF信号源88、98に対応し、基準信号挿入手段は基準信号光源82と光カプラ83、89とに対応し、基準信号検出手段はPD85、95とA/D86、96とEEPROM101とリジェクト側AOTF制御CPU87とに対応し、周波数演算手段はEEPROM101とリジェクト側AOTF制御CPU87とに対応する。

【0119】請求項11、12に記載の可変波長選択フィルタと第1の実施形態との対応関係については、重畳手段はRF信号源88とEEPROM101とリジェクト側AOTF制御CPU87とに対応し、トラッキング手段はPD85とA/D86とリジェクト側AOTF制御CPU87とに対応する。請求項14に記載の可変波長選択フィルタと第1の実施形態との対応関係については、強度最大値判別手段はPD85とA/D86とEEPROM101とリジェクト側AOTF制御CPU87とに対応する。

【0120】請求項15に記載の分岐・挿入装置と第1の実施形態との対応関係については、RF信号発生手段は、RF信号源88、98に対応する。請求項16、17に記載の分岐・挿入装置と第1の実施形態との対応関係については、第1の可変波長選択フィルタはAOTF部84、90とPD85、95とA/D86、96とEEPROM101とリジェクト側AOTF制御CPU87とRF信号源88、98とに対応する。

【0121】請求項18ないし請求項20については、後述する挿入部分における構成を説明するときに対応関係を説明する。

（第1の実施形態におけるリジェクト部分の作用効果）次に、AOTF部84におけるリジェクト側AOTF制御CPU87の制御について説明する。

【0122】図14は、基準信号をスキャンする方法を

説明する図である。図14の縦軸は、PD85で検出した光強度に対するA/D86の出力値であり、横軸は、RF信号の周波数である。リジェクト側AOTF制御CPU87は、OADM装置制御CPU100からリジェクト要求を受け、どのchをリジェクトするか識別する(#1)。

【0123】そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、EEPROM101蓄積してある「第1基準信号スキャン開始RF周波数fa(Hz)」、「基準信号スキャン開始RFパワーPa(dBm)」を読み込み、RF信号源88へこれらのデータを送信する(#2)。この第1基準信号スキャン開始RF周波数faは、第1基準信号を選択して分岐するRF信号の周波数よりも低い周波数に設定される。さらに、前述したように第1基準信号を選択して分岐するRF信号の周波数は、温度に依存するので、EEPROM101に適当な温度間隔においてその温度ごとにfaを複数用意しておく。

【0124】そして、RF信号源88は、受信した周波数faおよびパワー(強度)PaのRF信号を発生し、AOTF部84に印加する(#3)。そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、A/D86を監視し、A/D86の出力値がEEPROM101に蓄積されている基準信号捕捉用閾値αより大きい小さいかを判断する。もし、小さい場合(図14の点A)には、EEPROM101に蓄積されている「基準信号スキャン間隔d(Hz)」を用いて、次にスキャンを行うRF信号の周波数fbを

$$fb = fa + d \quad \dots 1$$

から求め、新たにRF信号源88へ送信する(#4)。

【0125】そして、RF信号源88は、受信した周波数fbおよび最初に受信したパワーPaのRF信号を発生し、AOTF部84に印加する(#5)。そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、A/D86を監視し、A/D86の出力値がEEPROM101に蓄積されている基準信号捕捉用閾値αより大きい小さいかを判断する(#6)。

【0126】そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、A/D86の出力値がαより大きくなるまで#4から#6までを繰り返す(#7)。一方、リジェクト側AOTF制御CPU87は、A/D86の出力値がαより大きい場合(図14の点D、RF信号の周波数fd)には、EEPROM101に蓄積されている「周波数トラッキング間隔Δd(Hz)」を用いて、次にスキャンを行うRF信号の周波数Δfa、Δfbをfdを中心にして、

$$\Delta fa = fd + \Delta d \quad \dots 2$$

$$\Delta fb = fd - \Delta d \quad \dots 3$$

から求めて、ΔfaおよびΔfbを順次に新たにRF信号源88へ送信する(#8)。

【0127】そして、リジェクト側AOTF制御CPU

87は、A/D86を監視し、Δfaに対するA/D86の出力値(図14の点E)とΔfbに対するA/D86の出力値(図14の点C)と比較する(#9)。そして、この場合には、Δfaに対するA/D86の出力値の方が大きいので、周波数の中心をfdからΔfaに換えて、#8および#9を行う(#10)。

【0128】このようにA/D86の出力値が大きい方の周波数を次にスキャンする周波数の中心に換えて、スキャンを行うと中心の周波数は、図14において点D、点E、点Fまで移動する。点Fまで中心周波数が移動すると、点Eと点GのA/D86の出力値を比較した場合に、いずれも点FのA/D86の出力値を越えることができないので、点Fが極大値と判別することができる。

【0129】そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、このように極大値を判断してスキャンを停止する(#11)。そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、その極大値を与える周波数(図14の点Fの周波数)を第1の基準信号に対するRF信号の周波数f(1)とする(#12)。

【0130】そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、#2から#12を繰り返して、第2の基準信号に対するRF信号の周波数f(2)を判別する。ただし、#2において「第1基準信号スキャン開始RF周波数fa(Hz)」の代わりに「第2基準信号スキャン開始RF周波数faa(Hz)」を使用し、式1の代わりに、  

$$fbb = faa - d \quad \dots 4$$
 を使用する(#13)。

【0131】そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、f(1)、f(2)、第1基準信号の波長とch1の波長との差、第2基準信号の波長とch32の波長との差および各ch間隔から各chを選択して遮断するためのRF信号の周波数を算出する(#14)。そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、各chに対してRF信号のパワーの最適化を行う。まず、ch1に対応するRF信号の周波数および「基準信号スキャン開始RFパワーPa(dBm)」をRF信号源88に送信する(#15)。

【0132】このRF信号のパワーの最適化の方法は、#8から#11において、Paを最初の中心とし、「周波数トラッキング間隔Δdf(Hz)」を「パワートラッキング間隔Δdp(Hz)」に代えただけで同様に極大値を判別することができるので、その説明を省略する。そして、OADM装置制御CPU100は、光カプラ91と光SW97とを介してスペクトルモニタ99にリジェクト後のAOTF部90から出力されるWDM光信号を監視させ、所望の信号がリジェクトされているか否か、リジェクションレベルはどの程度かを測定させる(#16)。

【0133】そして、OADM装置制御CPU100は、スペクトルモニタ99からこれらのデータを受信し

て、リジェクションレベルをリジェクト側AOTF制御CPU87に送信する。さらに、リジェクトchを誤っている場合にはその警告もリジェクト側AOTF制御CPU87に送信する(#17)。そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、受信したリジェクションレベルがEEPROM101に蓄積されている「リジェクションレベル閾値 $\beta$ (dBm)」より大きいかな否かを判断する。受信したリジェクションレベルが $\beta$ より小さい場合および警告を受信した場合は、再度第1基準信号および第2基準信号のスキャンを行う(#18)。

【0134】また、AOTF部90に対するRF信号の周波数とパワーのスキャンは、#1から#18と同様の制御でリジェクト側AOTF制御CPUの制御87によって行われるので、その説明を省略する。そして、リジェクト側AOTF制御CPU100は、遮断すべきchに対応するRF信号の周波数を演算して、その周波数のRF信号をAOTF84またはAOTF部90に印加して、所望のchを遮断させる(#19)。

【0135】なお、基準信号が第1基準信号だけで第2基準信号がない場合には、EEPROM101は、第2基準信号スキャン開始RF周波数および第2基準信号スキャン終了RF周波数に代えて、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値を蓄積する。そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、#13および#14に代えて、 $f(1)$ 、第1基準信号の波長とch1の波長との差、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値および各ch間隔から各chを選択して遮断するためのRF信号の周波数を算出することを行う。

【0136】このように、所望のchの光信号を遮断する前に、そのchを遮断するRF信号の周波数を探すので、温度変化などによるRF信号の周波数シフトを補償することができる。したがって、正確に所望のchの光信号を遮断することができる。なお、所望のchの光信号を遮断する度に、#1から#19までを繰り返してもよいが、#15のRF信号のパワーの最適化については、図10で前述したようにRF信号の入力強度とリジェクションレベルとの関係は、RF信号の周波数を変化させてもほぼ同様の特性を示すから、前回に行った結果を使用して#15を省略することができる。

【0137】また、上述では、基準信号を基準信号光源82によってWDM光信号に挿入したが、光通信ネットワークを運用する上での監視信号であるOSC(Optical Supervisory channel)を基準信号として利用してもよい。こうして最適なRF信号の周波数をAOTF部84、90に印加することにより、正確に所望のchの光信号を遮断することができるが、遮断している間においても、最適なRF信号は、温度変化、RF信号の周波数のシフトおよびゆらぎなどにより、シフトすることがある。そのため、所望のchを正確に遮断するために最適なRF信号の周波数をトラッキングする必要がある。

【0138】次に、このトラッキングについて説明する。図15は、トラッキング用の変調波長と出力光との関係を示す図である。図15の縦軸は、光強度であり、横軸は、RF信号の周波数である。曲線Zは、AOTF部の選択特性であり、ほぼ左右対称な上に凸の曲線である。この図15において、光強度の最大値を与えるRF信号の周波数が、上述で求めた所望のchを遮断するために最適なRF信号の周波数である。横軸の下部の曲線は、正弦波状のトラッキング用の変調信号であり、曲線Zの右上の曲線は、これに応じた出力光である。

【0139】AOTF部84におけるトラッキングとAOTF部90におけるトラッキングとは、同様なので、AOTF部84におけるトラッキングについて説明する。図12、13、15において、リジェクト側AOTF制御CPU87は、RF信号源88を制御してAOTF部84に印加するRF信号の周波数を最適な周波数を中心にわずかに変えて、図15に示すトラッキング用の変調信号を生じさせる。この変調信号を10kHzから1MHzの周波数、例えば、20kHzとする。

【0140】AOTF部84で遮断される所望のchの光信号は、この変調信号成分を含んでAOTF部84によって選択されて分岐し、PD85に入射する。PD85は、この光信号の光強度を検出しA/D86を介してリジェクト側AOTF制御CPU87に出力する。このため、リジェクト側AOTF制御CPU87は、この変調信号に対応した光強度の出力値を得られる。

【0141】ここで、光信号をトラッキング用の変調信号で変調しても、本来、AOTF部84において遮断される光信号であるから、何ら問題ない。リジェクト側AOTF制御CPU87は、A/D86の出力値が最も大きくなるように制御する。これは、図15に示すように曲線Zがほぼ左右対称な上に凸の曲線であるので、RF信号の周波数を高い方と低い方とに極くわずかに振った場合、周波数の高い方と低い方の両方でA/D86の出力値が小さくなれば、その中心の周波数がA/D86の出力値が最も大きくなるからである。

【0142】また、このようにA/D86の出力値が最も大きくなるように制御することにより、最適なRF信号の周波数を維持することができる。ここで、RF信号の周波数を高い方と低い方とに振る範囲は、極わずかであるが、0.8nm間隔のWDM光信号の場合では隣接するch間に対するRF信号の周波数の差が90kHzであるから、少なくとも $\pm 45$ kHz以内にする必要がある。さもないと隣接するchを遮断してしまうことになるからである。

【0143】なお、リジェクト側AOTF制御CPU87に周波数カウンタを設けた場合には、A/D86の出力値の周期を検出することによっても最適なRF信号の周波数を維持することができる。すなわち、RF信号源88が発生するRF信号の周波数が最大値を与える周波

数に一致する場合は、この出力値は、トラッキング用変調信号が1周期する間に、曲線Zの極大値から周波数の高い側に1往復し、さらに周波数の低い側に1往復するので、この変調信号の2倍の周波数の正弦波となる。一方、RF信号源88が発生するRF信号の周波数が最大値を与える周波数に一致しない場合は、この出力値は、この変調信号の2倍の周波数を生じない。

【0144】したがって、変調信号の2倍の周期の出力値が得られるようにRF信号の周波数を調節すれば、常に極大値を与える最適なRF信号の周波数に維持することができる。こうしてAOTF部84は、一度、特定波長の光信号を分岐・挿入するRF信号の周波数が判別された後は、トラッキングによって最適なRF信号の周波数が制御される。

【0145】また、トラッキング用の変調信号を10kHzから1MHzの範囲内である20kHzと設定するので、LN変調器の可変バイアスコントロール回路用に既にかけられている1kHzの変調信号と混同することがない。さらに、その変調信号を1MHz以下とするので、高速な変調ではないから、リジェクト側AOTF制御CPU87の負担となることもない。

【0146】次に、受信処理部分について説明する。

(第1の実施形態における受信処理部分の構成) この受信処理部分は、請求項1～3、16、17に記載の発明を適用して構成された可変波長選択フィルタ・OADM装置の実施形態である。図16は、第1の実施形態におけるOADM装置に関し、この受信処理部分の構成を示す図である。なお、AOTF部112、113とRF信号源119、122とPD117、120とA/D118、121と光カプラ114、115、124と光受信機116とからなる受信処理を行う部分300は、本受信処理部分が16波の受信処理を行うため16個あるが、同一の構成であるため、図12および図15には、そのうちの1波を受信処理する部分のみを示し、これらの図に図示していない。さらに、その説明も同一であるため、以下、1波を受信処理を行う部分について説明する。

【0147】図16において、前述の光カプラ81で分岐した32波のWDM光信号は、2つに光を分岐する光カプラ110に入射する。光カプラ110で分岐した一方のWDM光信号は、光カプラ81で32波のWDM光信号が分岐したか否かを確認するために、光SW97を介してスペクトルモニタ99に入射し、OADM装置制御CPU100によって確認される。OADM装置制御CPU100は、WDM光信号が分岐されていることを確認すると、後述する分岐側AOTF制御CPU123に信号を送信し、AOTF制御CPU123に受信処理をさせる。

【0148】一方、光カプラ110で分岐した他方のWDM光信号は、1×16光カプラ111に入射し、16

の32波のWDM光信号に分配され分岐する。したがって、1×16光カプラ111から出力されるWDM光信号には、32波の光信号が含まれている。なお、ここで、1×16光カプラ111は、16に分配して分岐する光カプラを使用したのが、これは、第1の実施形態におけるOADM装置が16波を分岐・挿入することができることに対応する。すなわち、仮にこのOADM装置が8波を分岐・挿入することができる場合には、8に分配して分岐する光カプラでよい。そして、この場合には、受信処理を行う部分300も8個でよい。

【0149】1×16光カプラ111で分配されて分岐したWDM光信号は、AOTF部112に入射する。AOTF部112は、RF信号を発生するRF信号源122によって印加されたRF信号の周波数に対応して特定の波長の光信号を入射した光信号から選択して分岐し、選択されなかった光信号は、そのまま捨てられる。一方、AOTF部112で選択されて分岐した光信号は、2つに光を分岐する光カプラ124で分岐される。この光カプラ124で分岐した一方の光信号は、その光信号を受光して光強度を検出するPD120に入射する。

【0150】このPD120は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D121に出力する。A/D121は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換して分岐側AOTF制御CPU123に送信する。分岐側AOTF制御CPU123は、スキャン開始RF周波数、スキャン終了RF周波数、スキャンRFパワーおよび単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値などのデータを蓄積したEEPROM125とデータ送受信を行い、AOTF部112、113やRF信号源112、119などを後述するように制御する。

【0151】また、RF信号源122は、この分岐側AOTF制御CPU123によって発生するRF信号の周波数とパワーとを制御される。一方、光カプラ124で分岐した他方の光信号は、RF信号を発生するRF信号源119によって印加されたRF信号の周波数に対応して特定の波長の光信号を入射した光信号から選択して分岐する次段のAOTF部113に入射する。AOTF部113は、再度AOTF部112と同一chを選択して分岐する。このようにAOTFを2段縦続接続するのは、AOTFの波長選択特性の幅が広いことから、所望のchに隣接するchからの影響をなくし確実に所望のchを選択するためである。

【0152】AOTF部113によって選択されて分岐した光信号は、2つに光を分岐する光カプラ114に入射する。光カプラ114で分岐した一方の光信号は、その光信号を受光して光強度を検出するPD117に入射する。このPD117は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D118に出力する。A/D118は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換して分岐側AOTF制御CPU123に送信する。



【0153】また、RF信号源119は、この分岐側AOTF制御CPU123によって発生するRF信号の周波数とパワーとを制御される。一方、光カプラ114で分岐した他方の光信号は、光カプラ115に入射し、光カプラ115で再度2つに分岐される。この光カプラ115で分岐した一方の光信号は、光信号を復調して受信処理を行う光受信機116に入射し、受信処理される。

【0154】また、この光カプラ115で分岐した他方の光信号は、AOTF部112、113によって所望のchの光信号が選択されて分岐されたか否かを確認するため、光SW97を介してスペクトルモニタ99に入射し、OADM装置制御CPU100によって確認される。OADM装置制御CPU100は、所望のchの光信号が選択されて分岐していないことを確認すると、分岐側AOTF制御CPU123に信号を送信し、AOTF制御CPU123は、再度AOTF部112、113を制御して受信処理を行う。

【0155】（本発明と第1の実施形態における受信処理部分との対応関係）以下、本発明と第1の実施形態における受信処理部分との対応関係について説明する。請求項1～3に記載の可変波長選択フィルタと受信処理部分との対応関係については、RF信号発生手段はRF信号源119、122に対応し、光強度検出手段はPD117、120に対応し、最大値判別手段はA/D118、121と分岐側AOTF制御CPU123とEEPROM125とに対応し、周波数制御手段は分岐側AOTF制御CPU123に対応する。

【0156】請求項16、17に記載の分岐・挿入装置と受信処理部分との対応関係については、第2の可変波長選択フィルタはAOTF部112、113とPD11\*30

$$f_{bdr} = f_{adr} + d_{dr}$$

から求め、新たにRF信号源122へ送信する（#34）。

【0159】そして、RF信号源122は、受信した周波数f<sub>bdr</sub> およびパワーP<sub>adr</sub> のRF信号を発生し、AOTF部112に印加する（#35）。そして、分岐側AOTF制御CPU123は、A/D121を監視し、A/D121の出力値がEEPROM125に蓄積されている基準信号捕捉用閾値α<sub>dr</sub>より大きい小さいかを判断する（#36）。

$$\Delta f_{adr} = f_{edr} + \Delta d_{dr}$$

$$\Delta f_{bdr} = f_{edr} - \Delta d_{dr}$$

から求めて、Δf<sub>adr</sub> およびΔf<sub>bdr</sub> を順次に新たにRF信号源122へ送信する（#38）。

【0161】そして、分岐側AOTF制御CPU123は、A/D121を監視し、Δf<sub>adr</sub> に対するA/D121の出力値とΔf<sub>bdr</sub> に対するA/D121の出力値と比較する（#39）。そして、Δf<sub>bdr</sub> に対するA/D121の出力値よりΔf<sub>adr</sub> に対するA/D121の出力値の方が大きい場合には、周波数の中心をf<sub>edr</sub> か

\*7、120とA/D118、121と分岐側AOTF制御CPU124とEEPROM125とRF信号源119、122とに対応する。

（第1の実施形態における受信処理部分の作用効果）次に、AOTF部112における分岐側AOTF制御CPU123の制御について説明する。

【0157】分岐側AOTF制御CPU123は、OADM装置制御CPU100から受信処理要求を受け、どのchを受信処理するか識別する（#31）。そして、分岐側AOTF制御CPU123は、EEPROM101蓄積してある「スキャン開始RF周波数f<sub>adr</sub>（Hz）」、「スキャン開始RFパワーP<sub>adr</sub>（dBm）」を読み込み、RF信号源122へこれらのデータを送信する（#32）。このスキャン開始RF周波数f<sub>adr</sub>は、ch1を選択して分岐するRF信号の周波数よりも低い周波数に設定される。さらに、前述したようにch1を選択して分岐するRF信号の周波数は、温度に依存するので、EEPROM125に適当な温度間隔においてその温度ごとにf<sub>adr</sub>を複数用意しておく。

【0158】そして、RF信号源122は、受信した周波数f<sub>adr</sub> およびパワー（強度）P<sub>adr</sub> のRF信号を発生し、AOTF部112に印加する（#33）。そして、分岐側AOTF制御CPU123は、A/D121を監視し、A/D121の出力値がEEPROM125に蓄積されている基準信号捕捉用閾値α<sub>dr</sub>より大きい小さいかを判断する。もし、小さい場合には、EEPROM125に蓄積されている「スキャン間隔d<sub>dr</sub>（Hz）」を用いて、次にスキャンを行うRF信号の周波数f<sub>bdr</sub>を

$$\dots 5$$

※【0160】そして、分岐側AOTF制御CPU123は、A/D121の出力値がα<sub>dr</sub>より大きくなるまで#34から#36までを繰り返す（#37）。一方、分岐側AOTF制御CPU123は、A/D121の出力値がα<sub>dr</sub>より大きい場合には、EEPROM125に蓄積されている「周波数トラッキング間隔Δd<sub>dr</sub>（Hz）」を用いて、次にスキャンを行うRF信号の周波数Δf<sub>adr</sub>、Δf<sub>bdr</sub>をそのときにRF信号源122に印加されている周波数f<sub>edr</sub>を中心にして、

$$\dots 6$$

$$\dots 7$$

らΔf<sub>adr</sub>に換えて、#38および#39を行う。一方、Δf<sub>adr</sub>に対するA/D121の出力値よりΔf<sub>bdr</sub>に対するA/D121の出力値の方が大きい場合には、周波数の中心をf<sub>edr</sub>からΔf<sub>bdr</sub>に換えて、#38および#39を行う（#40）。

【0162】このようにA/D121の出力値が大きい方の周波数を次にスキャンする周波数の中心に換えて、スキャンを行うと中心の周波数は、A/D121の出力

値の極大値を与える周波数まで移動する。そして、分岐側 AOTF 制御 CPU 123 は、このように極大値を判断してスキャンを停止する (#41)。

【0163】そして、分岐側 AOTF 制御 CPU 123 は、その極大値を与える周波数を  $ch1$  の周波数  $f(ch1)$  とする (#42)。そして、分岐側 AOTF 制御 CPU 123 は、 $f(ch1)$ 、 $ch1$  の波長、単位 RF 信号の周波数変化に対する選択波長変化の値および各  $ch$  間隔から各  $ch$  を選択して分岐するための RF 信号の周波数を算出する (#43)。

【0164】そして、#31 から #43 までの同様の制御により、AOTF 部 113 につき各  $ch$  を選択して分岐するための RF 信号の周波数を算出する (#44)。ここで、図 12、16 に示すように AOTF 部が 2 段に縦続している場合には、光信号の進行方向に対して前段の AOTF 部 112 の RF 信号の周波数と選択波長との関係を判別している間は、RF 信号の周波数のスキャンに従い光信号が選択されて分岐してしまうので、後段の AOTF 部 113 において #31 から #43 までの同様の制御によって RF 信号の周波数と選択波長との関係を判別できない。このため AOTF 部 112 の RF 信号の周波数と選択波長との関係の判別と AOTF 部 113 の RF 信号の周波数と選択波長との関係の判別とは、時分割で行う必要がある。AOTF 部を多段に縦続接続した場合も同様である。

【0165】そして、OADM 装置制御 CPU 100 は、光カプラ 115 と光 SW 97 とを介してスペクトルモニタ 99 に選択・分岐後の AOTF 部 113 から出力される光信号を監視させ、所望の光信号が選択・分岐されているか否か、選択・分岐レベルはどの程度かを測定させる (#45)。そして、OADM 装置制御 CPU 100 は、スペクトルモニタ 99 からこれらのデータを受信して、選択・分岐レベルを分岐側 AOTF 制御 CPU 123 に送信する。さらに、選択・分岐  $ch$  を誤っている場合にはその警告も分岐側 AOTF 制御 CPU 123 に送信する (#46)。

【0166】そして、分岐側 AOTF 制御 CPU 123 は、受信した選択・分岐レベルが EEPROM 125 に蓄積されている「選択・分岐レベル閾値  $\beta_{dr}$  (dBm)」より大きいのか否かを判断する。受信した選択・分岐レベルが  $\beta_{dr}$  より小さい場合および警告を受信した場合は、再度  $ch1$  のスキャンを行う (#47)。そして、分岐側 AOTF 制御 CPU 123 は、受信処理すべき  $ch$  に対応する RF 信号の周波数を演算して、その周波数の RF 信号を AOTF 112、113 に印加して、所望の  $ch$  を光受信機 116 に受信処理させる (#48)。

【0167】なお、上述の説明では、 $ch1$  をスキャンして RF 信号の周波数と選択波長との関係を演算したが、別の  $ch$  をスキャンしてこの関係を演算してもよ

い。この場合には、分岐側 AOTF 制御 CPU 123 は、極大値の数を計数するとともに、 $ch1$  に対応する極大値を与える RF 信号の周波数を  $ch2$  の極大値をスキャンするための「スキャン開始 RF 周波数  $f_{adr}$  (Hz)」として、#32 から #43 の制御を行う。そして、極大値の計数値に 1 を足して、 $ch2$  に対応する極大値を与える RF 信号の周波数を  $ch3$  の極大値をスキャンするための「スキャン開始 RF 周波数  $f_{adr}$  (Hz)」として、#32 から #43 の制御を行う。以下、順次同様の制御を目標の  $ch$  になるまで行い、このときの RF 信号の周波数などを用いて RF 信号の周波数と選択波長との関係を演算すればよい。

【0168】また、EEPROM 125 の他に分岐側 AOTF 制御 CPU 123 とデータの送受信を行いデータを記憶する RAM をさらに設けて、32 波すべての  $ch$  のスキャンを行うようにしてもよい。このように、所望の  $ch$  の光信号を光受信機 116 で受信処理を行う前に、その  $ch$  を選択して分岐する RF 信号の周波数を探すので、温度変化などによる RF 信号の周波数シフトを補償することができる。したがって、正確に所望の  $ch$  の光信号を受信処理することができる。

【0169】次に、挿入部分について説明する。

(第 1 の実施形態における挿入部分の構成) この挿入部分は、請求項 16 ~ 20 に記載の発明を適用して構成された可変波長選択フィルタ・OADM 装置の実施形態である。図 17 は、第 1 の実施形態における OADM 装置に関し、この挿入部分の構成を示す図である。なお、AOTF 部 135、136 と RF 信号源 139、142 と PD 140、143 と A/D 141、144 と光カプラ 134、138、146 と光変調器 133 と光アンプ 132 と光 SW 131 とからなる挿入すべき光信号を生成する部分は、本挿入理部分が 16 波の挿入信号を生成するため 16 個あるが、同一の構成であるため、図 12 および図 17 には、そのうちの 1 波を生成する部分のみを示し、これらの図に図示していない。さらに、その説明も同一であるため、以下、1 波を生成する部分について説明する。

【0170】図 17 において、32 波の WDM 光信号の各光信号の対応する波長の光を発生する 32 個の LD からなる LD バンク 137 は、波長の異なる 32 波のレーザ光を発生させ、光カプラ 138 に入射させる。入射した 32 波のレーザ光は、光カプラ 138 で合波された後に 16 に分配され分岐する。したがって、分配され分岐した 1 つのポートには、32 波の波長の光が含まれている。

【0171】分配されて分岐したレーザ光は、AOTF 部 136 に入射する。AOTF 部 136 は、RF 信号を発生する RF 信号源 139 によって印加された RF 信号の周波数に対応して特定波長の光を入射した 32 波の光 (WDM 光) から選択して分岐し、選択されなかった光



は、そのまま捨てられる。一方、AOTF部136で選択されて分岐した光は、2つに光を分岐する光カプラ146で分岐される。この光カプラ146で分岐した一方の光は、その光を受光して光強度を検出するPD140に入射する。

【0172】このPD140は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D141に出力する。A/D141は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換して挿入側AOTF制御CPU145に送信する。挿入側AOTF制御CPU145は、スキャン開始RF周波数、スキャン終了RF周波数、スキャンRFパワーおよび単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値などのデータを蓄積したEEPROM147とデータの送受信を行い、AOTF部135、136やRF信号源139、142などを後述するように制御する。さらに、挿入側AOTF制御CPU145は、印加しているRF信号の周波数とそのときのA/D141、144からの出力値を蓄積するRAM148とデータの送受信を行う。

【0173】また、RF信号源139は、この挿入側AOTF制御CPU145によって発生するRF信号の周波数とパワーとを制御される。一方、光カプラ146で分岐した他方の光信号は、RF信号を発生するRF信号源142によって印加されたRF信号の周波数に対応して特定の波長の光信号を入射した光信号から選択して分岐する次段のAOTF部135に入射する。AOTF部135は、再度AOTF部136と同一chを選択して分岐する。このようにAOTFを2段縦続接続するのは、AOTFの波長選択特性の幅が広いことから2段縦続接続することによって、選択光の半値幅を狭くするためである。このように半値幅を狭くすることによりこのレーザの波長のchに隣接するchへの影響を少なくすることができる。

【0174】AOTF部136によって選択されて分岐した光信号は、2つに光を分岐する光カプラ134に入射する。光カプラ134で分岐した一方の光信号は、その光信号を受光して光強度を検出するPD143に入射する。このPD143は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D144に出力する。A/D144は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換して挿入側AOTF制御CPU145に送信する。

【0175】また、RF信号源142は、この挿入側AOTF制御CPU145によって発生するRF信号の周波数とパワーとを制御される。一方、光カプラ134で分岐した他方の光信号は、送出すべき情報に従って入力した光を変調する光変調器133に入射する。入射したLDは、この光変調器133によって変調され挿入すべき光信号となる。この光信号は、光強度を増幅する光アンプ132によって増幅され、光SW131に入射する。

【0176】この光SW131は、入射した光信号を後段の16×1光カプラ130に入射させるか、または何も接続していない光導波路に入射させるかを切り換える。この切換は、挿入側AOTF制御CPU145によって行われ、RF信号の周波数と選択波長との関係を求めるためにRF信号の周波数をスキャンする場合は、何も接続していない光導波路に入射させるように切り換え、光信号を挿入すべく16×1光カプラ130に入射させる場合は、16×1光カプラ130に入射させるように切り換える。このように光SW131を設けることにより、RF信号の周波数と選択波長との関係を求めるためにRF信号の周波数をスキャンする間に、選択されなかった光（非選択光）を16×1光カプラ130に入射させることがない。このため、選択されなかった光（非選択光）を光カプラ92と光アンプ93と光カプラ94とを介して光伝送路に送出することはないので、光伝送路を伝送するWDM光信号とクロストークすることはない。

【0177】光SW131から出力された光信号は、16×1光カプラ130に入射し、この16×1光カプラによって他の挿入すべき光信号と合波されて、光カプラ92に入射する。光カプラ92に入射した合波された光信号は、前述したようにリジェクト部分によって遮断されなかった光信号と合波されて、光アンプ93と光カプラ94とを介して、WDM光信号として光伝送路に送出され、次のノードへ送信される。

【0178】（本発明と第1の実施形態における挿入部分との対応関係）以下、本発明と第1の実施形態における挿入部分との対応関係について説明する。請求項16、17に記載の分岐・挿入装置と挿入理部分との対応関係については、第3の可変波長選択フィルタはAOTF部135、136とPD140、143とA/D141、144と挿入側AOTF制御CPU145とEEPROM147とRF信号源139、140とに対応する。

【0179】請求項18、19に記載のスペクトルモニタと挿入部分との対応関係については、記憶手段はRAM148に対応し、遮断手段は光SW131に対応する。請求項20に記載の記載の分岐・挿入装置と挿入理部分との対応関係については、第3の可変波長選択フィルタはAOTF部135、136とPD140、143とA/D141、144と挿入側AOTF制御CPU145とEEPROM147とRAM148とRF信号源139、140と光SW131とに対応し、選択制御手段は挿入側AOTF制御CPU145に対応する。

【0180】（第1の実施形態における挿入部分の作用効果）次に、AOTF部135、136における挿入側AOTF制御CPU145の制御について説明する。挿入側AOTF制御CPU145は、OADM装置制御CPU100から挿入許可を受け、どのchの光信号を生

成すべきか識別する（＃51）。

【0181】挿入側AOTF制御CPU145は、光SW131を何も接続していない光導波路に入射させるように切り換える（＃52）。この後のRF信号の周波数と選択波長との関係を判別する制御は、前述の＃42から＃48と同様に考えることができるので、その説明を省略する。そして、挿入側AOTF制御CPU145は、挿入すべきchに対応するRF信号の周波数を演算して、その周波数のRF信号をAOTF135、136に印加し、所望のchの光を光変調器133に入射させる。この所望のchの光は、光変調器133で送出すべき情報に基づいて変調され、挿入すべき光信号が生成される（＃53）。

【0182】このように、所望のchの光信号を生成する前に、そのchを選択して分岐するRF信号の周波数を探すので、温度変化などによるRF信号の周波数シフトを補償することができる。したがって、正確に所望のchの光信号を挿入することができる。一方、スペクトルモニタとして動作するときは、挿入側AOTF制御CPU145は、前述の＃32と＃44までの制御の間において、スキャン周波数を変えたときに、そのRF信号の周波数とその周波数に対するA/D141、144からの出力値の極大値をRAM145に記憶する制御を行うこと以外＃32から＃44と同様の制御を行うので、その説明を省略する。

【0183】そして、挿入側AOTF制御CPU145は、RF信号の周波数と選択波長との関係に基づいてA/D141、144からの出力値とレーザの波長との対応付けを行う。このように制御することにより、レーザの波長とそのときの光強度とを検出するスペクトルモニタとして使用することができる。

【0184】次に、この第1の実施形態におけるOADM装置において、光信号を分岐・挿入する場合の全体の制御について説明する。図12、13、16、17において、OADM装置制御CPU100は、どのchを遮断すべきかリジェクト側AOTF制御CPU87に送信する。この信号を受けたリジェクト側AOTF制御CPU87は、上述の＃1から＃19の制御を行い、所望のchを遮断したことをOADM装置制御CPU100に送信する。そして、リジェクト側AOTF制御CPU87は、上述のトラッキングを行い、最適な遮断状態を維持する。

【0185】信号を受けたOADM装置制御CPU100は、光カブラ91と光WS97とスペクトルモニタ99を介して所望のchを遮断したことを確認すると、どのchの光信号を受信処理するか分岐側AOTF制御CPU123に送信し、さらに、どのchに光信号を挿入すべきか挿入側AOTF制御CPU145に送信する。

【0186】信号を受けた分岐側AOTF制御CPU123は、上述の＃31から＃48の制御を行い、所望の

chの光信号を受信処理したことをOADM装置制御CPU100に送信する。また、信号を受けた挿入側AOTF制御CPU145は、上述の＃51から＃53の制御を行い、所望のchの光信号を生成したことをOADM装置制御CPU100に送信する。この信号を受けたOADM装置制御CPU100は、光カブラ94と光WS97とスペクトルモニタ99を介して所望のchの光信号が挿入されたことを確認する。

【0187】こうして、所望のchの光信号は、分岐・挿入される。次に、別の実施形態について説明する。

（第2の実施形態の構成）第2の実施形態は、請求項6、7、13、16に記載の発明を適用して構成された可変波長選択フィルタ・OADM装置の実施形態である。

【0188】図18は、第2の実施形態におけるOADM装置の構成を示す図である。図18において、32波のWDM光信号は、光強度を増幅する光アンプ150によって増幅され、光カブラ151に入射する。WDM光信号には、この光アンプ150によってASEが重畳される。この光カブラ151は、入射したWDM光信号を2つに分岐する。分岐した一方のWDM光信号は、1枚のニオブ酸リチウム基板上にAOTF部1とAOTF部2とを形成したAOTFユニット153におけるAOTF部1の入力側に入射する。一方、分岐した他方のWDM光信号は、AOTF部2の入力側に入射する。

【0189】このAOTFユニット153は、不図示のベルチェ素子によって2つのAOTF部1およびAOTF部2を同一温度となるように後述するAOTF制御CPUによって制御される。AOTF部1は、16波の光信号を生成することができる光信号生成回路152から入射する光信号を印加されるRF信号の周波数に応じてWDM光信号に挿入し、この挿入と同時にこのRF信号の周波数に応じた波長の光信号をWDM光信号から選択して分岐する。この印加されるRF信号は、RF信号源161によって発生し、AOTF制御CPU158によって切換制御されるスイッチ162を介して印加される。また、RF信号源161は、AOTF制御CPU158によって発生するRF信号の周波数とパワーとを制御される。

【0190】また、分岐した光信号は、16波の光信号を受信処理することができる受信処理回路154に入射し、受信処理される。一方、AOTF部1を通過するWDM光信号は、光信号生成回路152からの光信号を挿入されて、光カブラ155に入射する。光カブラ155は、このWDM光信号を2つに分岐して、一方を光伝送路に送出し、次段のノードに送信する。また、分岐した他方を光WS156に入射する。

【0191】一方、光カブラ151で分岐した32波のWDM光信号は、AOTFユニット153におけるAOTF部2の入力側に入射する。このAOTF部2は、R

F信号の周波数と選択波長との関係を判別するために使用される。AOTF部2は、RF信号源161によって印加されたRF信号の周波数に対応して特定波長の光信号を入射したWDM光信号から選択して分岐する。選択されなかったWDM光信号と選択され分岐した光信号とともに、光SW156に入射する。

【0192】光SW156は、スペクトルモニタ157によって光SW156に入射するいずれの光信号をスペクトルモニタ157に入射させるかを制御され、指示された光信号をスペクトルモニタ157に入射させる。スペクトルモニタ157は、検出した光の波長とその光強度とをAOTF制御CPU158に出力する。AOTF制御CPU158は、スペクトルモニタ157から受信した光の波長と光強度とをRAM159に蓄積する。また、AOTF制御CPU158は、ASEリジエクトRF周波数、ASEリジエクトRFパワーおよび単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値などのデータを蓄積したEEPROM160とデータの送受信を行い、AOTFユニット153、RF信号源161およびスイッチ162を後述するように制御する。

【0193】（本発明と第2の実施形態との対応関係）以下、本発明と第2の実施形態との対応関係について説明する。請求項6に記載の可変波長選択フィルタとの対応関係については、光増幅器は光アンプ150に対応し、RF信号発生手段はRF信号源161に対応し、スペクトルモニタはスペクトルモニタ157に対応し、波長判別手段はAOTF制御CPU158とRAM159とEEPROM160に対応し、周波数演算手段はAOTF制御CPU158とEEPROM160に対応する。

【0194】請求項7に記載の可変波長選択フィルタとの対応関係については、RF信号発生手段はRF信号源161に対応し、スペクトルモニタはスペクトルモニタ157に対応し、周波数演算手段はAOTF制御CPU158とEEPROM160に対応する。請求項13に記載の可変波長選択フィルタは、AOTFユニット153に対応し、温度制御手段はペルチェ素子とAOTF制御CPU158に対応する。

【0195】請求項16に記載の分岐・挿入装置と挿入理部分との対応関係については、第1の可変波長選択フィルタはAOTFユニット153とRF信号源161とスペクトルモニタ157とAOTF制御CPU158とEEPROM160とRAM159とスイッチ162とに対応する。

（第2の実施形態の作用効果）AOTF制御CPU158は、光信号をAOTF部1によって分岐・挿入する前に、AOTF部2を使用して、その温度におけるRF信号の周波数と選択波長との関係をAOTF部2を使用して判別する。

【0196】AOTF部1とAOTF部2とは、同一基

板上に形成されていることから、その単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値などの諸特性はほぼ同一である。また、ペルチェ素子によってAOTF部1とAOTF部2とは、同一の温度であるから、判別したAOTF部2におけるRF信号の周波数と選択波長との関係は、そのままAOTF部1に当てはまる。

【0197】このため、光伝送路を伝送するWDM光信号に影響を与えることなく、RF信号の周波数と選択波長との関係を判別することができる。そして、判別した結果を用いるので、光伝送路を伝送するWDM光信号から所望の光信号を正確に分岐・挿入することができる。次に、RF信号の周波数と選択波長との関係を求める手順について説明する。

【0198】AOTF制御CPU158は、スイッチ162を切ってRF信号源161からのRF信号をAOTF部1に印加しないようにする（#61）。そして、AOTF制御CPU158は、EEPROM160に蓄積してある「ASEリジエクトRF周波数」、「ASEリジエクトRFパワー」を読み込み、RF信号源161へこれらのデータを送信する（#62）。

【0199】そして、RF信号源161は、受信した周波数およびパワーのRF信号を発生し、AOTF部1に印加する（#63）。そして、AOTF制御CPU158は、スペクトルモニタ157にAOTF部2において選択して分岐しない（AOTF部2を通過する）光信号をモニタするように制御し、スペクトルモニタ157は、光SW156に指示してAOTF部2において選択して分岐しない光信号をスペクトルモニタ157に入射させるように制御する（#64）。

【0200】そして、スペクトルモニタ157は、WDM光信号の波長帯域にわたって光の波長とその波長における光強度とをモニタして、その結果をAOTF部制御CPU158に送信する（#65）

そして、AOTF制御CPU158は、これらの受信データを一旦RAM159に蓄積する（#66）。

【0201】そして、AOTF制御CPU158は、蓄積したデータを解析してASEの窪みを検索する（#67）。この検索は、一定の閾値を設定し、その閾値以下の光強度の範囲において、光強度の極小値を判別することによって行うが、この手法は、第1の実施形態で説明した極大値を求める手法と同様の考えによって行うことができる。

【0202】そして、AOTF制御CPU158は、この極大値を与える波長、ASEリジエクトRF周波数、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値および各ch間隔から各chを選択して分岐するためのRF信号の周波数を算出する（#68）。

【0203】そして、AOTF158は、所望のchに対応するRF信号の周波数を発生するようにRF信号源161を制御する。さらに、スペクトルモニタ157に

AOTF部2において選択して分岐された光信号をモニタするように制御し、スペクトルモニタ157は、光SW156に指示してAOTF部2において選択して分岐された光信号をスペクトルモニタ157に入射させるように制御する(#69)。

【0204】そして、スペクトルモニタ157は、そのモニタ結果をAOTF部制御CPU158に送信し、AOTF制御CPU158は、所望のchの光信号が分岐されたか否か確認する(#70)。そして、AOTF制御CPU158は、確認の結果所望のchの光信号が分岐されている場合には、スイッチ162をオンにして、RF信号源から発生する所望のchに対応するRF信号の周波数がAOTF部1に印加されるようにする(#71)。こうして、所望のchの光信号が正確に分岐・挿入される。

【0205】一方、AOTF制御CPU158は、確認の結果所望のchの光信号が分岐されていない場合には、#61から#70を繰り返す。このように、所望のchの光信号を分岐・挿入する前にRF信号確認用のAOTF部2によって、そのchを分岐・挿入するRF信号の周波数を探すので、温度変化などによるRF信号の周波数シフトを補償することができる。したがって、正確に所望のchの光信号を受信処理することができる。

【0206】なお、第2の実施形態においては、スペクトルモニタ157においてAOTF部2を通過した光信号からASEの窪みを判別したが、スペクトルモニタ157によってAOTF部2で選択され分岐したASEを直接判別し、このASEの波長とそのときのRF信号の周波数とから、RF信号の周波数と選択波長との関係を演算してもよい。

【0207】また、第2の実施形態において、ASEの窪みの判別は、第1の実施形態で説明した極大値を求める手法と同様の考えによって行ったが、AOTF部2にASEリジエクトRF周波数を印加した場合のスペクトルモニタ157の出力値とAOTF部2にASEリジエクトRF周波数を印加しない場合のスペクトルモニタ157の出力値との差をとることによっても判別することができる。

【0208】次に、別の実施形態について説明する。

(第3の実施形態の構成) 第3の実施形態は、請求項8~10、16に記載の発明を適用して構成された可変波長選択フィルタ・OADM装置の実施形態である。図19は、第3の実施形態におけるOADM装置の構成を示す図である。

【0209】図19において、AOTF部170は、圧電作用を示すニオブ酸リチウムの基板に第1の光導波路172と第2の光導波路173とを形成する。これら光導波路172、173は、互いに2箇所で交叉しており、これら2つの交叉する部分にPBS176、177が設けられている。このPBS176は、光伝送路から

第1の光導波路172に入射したWDM光信号をTMモードとTEモードとに分離し、分離したTMモードのWDM光信号は、第1の光導波路172を進行し、分離したTEモードのWDM光信号は、第2の光導波路173を進行する。また、PBS176は、8波の光信号を生成することができる光信号生成回路181から第1の光導波路172に入射した挿入すべき挿入光信号をTMモードとTEモードとに分離し、分離したTMモードの挿入光信号は、第1の光導波路173を進行し、分離したTEモードの光信号は、第2の光導波路173を進行する。

【0210】PBS176とPBS177との間における第1の光導波路172上には、金属膜の第1のSAWガイド175が形成されている。この第1のSAWガイド175には、櫛を交互にかみ合わせた形状の電極である第1のIDT174にRF信号を印加することによって発生する弾性表面波が伝搬する。この第1のIDT174に印加するRF信号は、後述するAOTF制御CPU191によってRF信号の周波数と信号強度とが制御されるRF信号源171で発生する。

【0211】また、PBS176とPBS177との間における第2の光導波路173上には、金属膜の第2のSAWガイド178が形成されている。この第2のSAWガイド178には、櫛を交互にかみ合わせた形状の電極である第2のIDT179にRF信号を印加することによって発生する弾性表面波が伝搬する。この第2のIDT179に印加するRF信号は、AOTF制御CPU191によってRF信号の周波数と信号強度とが制御されるRF信号源180で発生する。

【0212】第1の光導波路172は、第1のSAWガイド175と交叉する部分において、弾性表面波による屈折率の周期的な変化が発生する。第1の光導波路172を進行するTMモードのWDM光信号および挿入光信号のうちこの屈折率の周期的な変化と相互作用をする波長のみが、TMモードからTEモードに入れ替わる。同様に、第2の光導波路173は、第2のSAWガイド178と交叉する部分において、弾性表面波による屈折率の周期的な変化が発生する。第2の光導波路173を進行するTEモードのWDM光信号および挿入光信号のうちこの屈折率の周期的な変化と相互作用をする波長のみが、TEモードからTMモードに入れ替わる。

【0213】そして、この入れ替わったWDM光信号および挿入光信号は、PBS177によって進行方向が変わる。このため、相互作用をした波長のWDM光信号のみ第1の光導波路172を進行して、分岐光信号として分岐し、光カプラ183に入射する。一方、相互作用をしなかった波長のWDM光信号は、第2の光導波路173を進行して、通過WDM光信号として通過し、光伝送路に送出される。

【0214】また、相互作用をした波長の挿入光信号

は、通過するWDM光信号に挿入され第2の光導波路173を進行して、WDM光信号として光伝送路に送出される。光カプラ183に入射した分岐光信号は、この光カプラ183によって3つに分岐する。分岐した第1の分岐光信号は、8波の光信号を受信処理することができる受信処理回路182に入射し、受信処理される。

【0215】分岐した第2の分岐光信号は、PBS184に入射し、TMモードとTEモードとに分離される。分離されたTMモードの分岐光信号は、その分岐光信号を受光して光強度を検出するPD185に入射する。このPD185は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D187に出力する。A/D187は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換してAOTF制御CPU191に送信する。同様に、分離されたTEモードの分岐光信号は、その分岐光信号を受光して光強度を検出するPD186に入射する。このPD186は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D188に出力する。A/D188は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換してAOTF制御CPU191に送信する。

【0216】また、分岐した第3の分岐光信号は、その分岐光信号を受光して光強度を検出するPD189に入射する。このPD189は、受光した光強度に従ったレベルの電気信号をA/D190に出力する。A/D190は、受信したアナログ信号をデジタル信号に変換してAOTF制御CPU191に送信する。このAOTF制御CPU191は、各種データを蓄積したEEPROM192からデータの送受信を行い、RF信号源171、180を後述するように制御する。

【0217】（本発明と第3の実施形態との対応関係）以下、本発明と第1の実施形態との対応関係について説明する。請求項8に記載の可変波長選択フィルタと第3の実施形態との対応関係については、第1の偏光手段はPBS176に対応し、第1のRF信号印加手段は第1のIDT174と第1のSAWガイド175とに対応し、第2のRF信号印加手段は第2のIDT179と第2のSAWガイド178とに対応し、第2の偏光手段はPBS177に対応する。

【0218】請求項9に記載の可変波長選択フィルタと第2の実施形態との対応関係については、第1のRF信号印加手段は第1のIDT174と第1のSAWガイド175とに対応し、第2のRF信号印加手段は第2のIDT179と第2のSAWガイド178とに対応し、RF信号発生手段は第1のRF信号源171と第2のRF信号源180とに対応する。また、光強度検出手段はPD189に対応し、最大値判別手段はA/D190とAOTF制御CPU191とEEPROM192とに対応し、周波数制御手段はAOTF制御CPU191に対応する。

【0219】請求項10に記載の可変波長選択フィルタ

と第2の実施形態との対応関係については、第3の偏光手段はPBS184に対応し、第1の光強度検出手段はPD185に対応し、第2の光強度検出手段はPD186に対応する。また、最大値判別手段はA/D187、188とAOTF制御CPU191とEEPROM192とに対応し、周波数制御手段はAOTF制御CPU191に対応する。

【0220】請求項16に記載の分岐・挿入装置と第2の実施形態との対応関係については、第1の可変波長選択フィルタはAOTF部170とRF信号源171、180とPBS184とPD185、186、189とA/D187、188、190とAOTF制御CPU191とEEPROM192とに対応する。

（第3の実施形態の作用効果）AOTF制御CPU191は、光信号をAOTF部170によって分岐・挿入する前に、PD189とA/D190とを介して受信する出力値を使用して、その温度におけるRF信号の周波数と選択波長との関係を判別する。具体的には、以下のよう判別する。

【0221】AOTF制御CPU191は、EEPROM192蓄積してある「TMモードスキャン開始RF周波数」、「TEモードスキャン開始RF周波数」、「スキャン開始RFパワー」を読み込み込む（#80）。

【0222】AOTF制御CPU191は、RF信号源171へ「TMモードスキャン開始RF周波数」および「スキャン開始RFパワー」を送信し、RF信号源180へ「TEモードスキャン開始RF周波数」および「スキャン開始RFパワー」を送信する（#81）。そして、AOTF制御CPU191は、常にRF信号源171とRF信号源180との周波数が一致するようにこれらのRF信号源171、180を制御して、第1の実施形態において説明した#34から#41と同様の制御により、第1の光導波路172に印加されるRF信号の周波数と第2の光導波路に印加されるRF信号の周波数とが同一の場合の最大値を判別する（#82）。このときのRF信号の周波数を共通最大値周波数と称することとする。

【0223】そして、AOTF制御CPU191は、まず、第2の光導波路173にRF信号を印加するRF信号源180を共通最大値周波数に固定し、第1の光導波路172にRF信号を印加するRF信号源171を共通最大値周波数の前後に亘る一定の範囲内においてスキャンして、第1の実施形態において説明した#4から#11と同様の考え方によって、TMモードに対する最大値を判別する（#83）。

【0224】そして、AOTF制御CPU191は、次に、第1の光導波路172にRF信号を印加するRF信号源171を#83で判別した最大値を与える周波数に固定し、第2の光導波路173にRF信号を印加するRF信号源180を共通最大値周波数の前後に亘る一定の

範囲内においてスキャンして、第1の実施形態において説明した#4から#11と同様の考え方によって、TEモードに対する最大値を判別する(#84)。

【0225】もちろん、#83においてRF信号源171を固定して、TEモードに対する最大値を判別し、次に、#84においてRF信号源180を固定して、TMモードに対する最大値を判別してもよい。

【0226】そして、AOTF制御CPU191は、TMモードの最大値を与えるRF信号の周波数、ch1の波長、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値および各ch間隔から各chを選択して分岐するためのTMモードにおけるRF信号の周波数と選択波長との関係を算出する(#85)。そして、AOTF制御CPU191は、TEモードの最大値を与えるRF信号の周波数、ch1の波長、単位RF信号の周波数変化に対する選択波長変化の値および各ch間隔から各chを選択して分岐するためのTEモードにおけるRF信号の周波数と選択波長との関係を算出する(#86)。

【0227】このように、所望のchの光信号を分岐・挿入する前に、そのchを分岐・挿入するRF信号の周波数を探るので、温度変化などによるRF信号の周波数シフトを補償することができる。さらに、TEモードをTMモードに入れ替える最適なRF信号の周波数とTMモードをTEモードに入れ替える最適なRF信号の周波数とは、互いに異なるが、このような構成とすることにより、各モードに対し異なる周波数のRF信号を印加して細かい調整をすることができるから、第3の実施形態におけるOADM装置は、正確に特定波長の光信号を分岐・挿入することができる。

【0228】ここで、光伝送路において偏光がゆっくり回転している場合、すなわち、AOTF制御CPU191がRF信号源171、180に周波数のデータを送信してその周波数に対するA/D190の出力値を得る時間よりも偏光がゆっくり回転している場合には、A/D190の出力値ではなく、A/D187、188の出力値を使用することにより、より正確にTMモードにおけるRF信号の周波数と選択波長との関係およびTEモードにおけるRF信号の周波数と選択波長との関係を得ることができる。

【0229】この場合には、#80から#82において、A/D190の出力値の代わりにA/D187の出力値とA/D188の出力値との平均値を用いる。そして、#83において、TMモードに対する最大値を判別する場合には、A/D190の出力値の代わりにTEモードのA/D188の出力値を用い、#84において、TEモードに対する最大値を判別する場合には、A/D190の出力値の代わりにTMモードのA/D187の出力値を用いる。このようにしてAOTF制御CPU191は、#80から#86までの制御をすることにより、TMモードにおけるRF信号の周波数と選択波長と

の関係およびTEモードにおけるRF信号の周波数と選択波長との関係を算出することができる。

【0230】このように分岐光信号をPBS184によって各モードごとに分離するので、第1の光導波路172を進行する光信号とRF信号源171によって印加されるRF信号との相互作用をより厳密に判別することができる。第2の光導波路173を進行する光信号とRF信号源180によって印加されるRF信号との相互作用をより厳密に判別することができる。このため、第3の実施形態におけるOADM装置は、より正確に特定波長の光信号を分岐・挿入することができる。

#### 【0231】

【発明の効果】請求項1ないし請求項13に記載の発明では、光を分岐・挿入する前にその温度におけるRF信号の周波数と選択波長との関係を判別するから、温度変化や経年変化などが生じても所定波長の光を分岐・挿入することができる。特に、請求項8に記載の発明では、第1の光導波路と第2の光導波路とにRF信号を個別に周波数を変えて印加することができるので、所定波長の光を分岐・挿入するために微妙な調整を行うことができる。

【0232】また、請求項9、10に記載の発明では、第1の光導波路を進行する光とRF信号との相互作用および第2の光導波路を進行する光とRF信号との相互作用を個別に調べて、第1の光導波路と第2の光導波路とにRF信号を個別に周波数を変えて印加することができるので、所定波長の光を分岐・挿入するために微妙な調整を行うことができる。

【0233】請求項14に記載の発明では、所定波長の光信号を十分に遮断することができるので、RF信号の周波数と選択波長との関係をスキャンして判別する間光信号を光伝送路などに送出することがない。このため光伝送路を伝送する光信号にクロストークなどの影響を与えることがない。請求項15ないし請求項17に記載の発明では、WDM光信号を分岐・挿入する前にその温度におけるRF信号の周波数と選択波長との関係を判別するから、温度変化や経年変化などが生じても所定波長の光を分岐・挿入することができる。

【0234】請求項18、19に記載の発明では、請求項1または請求項2に記載の可変波長選択フィルタを利用することによってスペクトルモニタを実現することができる。請求項20に記載の発明では、請求項1または請求項2に記載の可変波長選択フィルタを利用することによってスペクトルモニタの機能を兼ね備えたOADM装置を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1、2、3、9、10に記載の可変波長選択フィルタの原理構成を示す図である。

【図2】温度変化に対するRF信号の周波数と選択波長との関係を示す図である。



【図 3】請求項 4, 5 に記載の可変波長選択フィルタの原理構成を示す図である。

【図 4】基準信号と WDM 光信号との関係を示す図である。

【図 5】請求項 6 に記載の可変波長選択フィルタの原理構成を示す図である。

【図 6】ASE の漏みと WDM 光信号との関係を示す図である。

【図 7】請求項 7 に記載の可変波長選択フィルタの原理構成を示す図である。

【図 8】請求項 11, 12 に記載の可変波長選択フィルタの原理構成を示す図である。

【図 9】請求項 14 に記載の可変波長選択フィルタの原理構成を示す図である。

【図 10】RF 信号の入力強度とリジェクションレベルとの関係を示す図である。

【図 11】請求項 18, 19 に記載のスペクトルモニタの原理構成を示す図である。

【図 12】第 1 の実施形態における OADM 装置の構成を示す図である。

【図 13】第 1 の実施形態における OADM 装置に関し、リジェクト部分の構成を示す図である。

【図 14】基準信号をスキャンする方法を説明するための図である。

【図 15】トラッキング用の変調信号と出力光との関係を示す図である。

【図 16】第 1 の実施形態における OADM 装置に関し、受信処理部分の構成を示す図である。

【図 17】第 1 の実施形態における OADM 装置に関し、挿入部分の構成を示す図である。

【図 18】第 2 の実施形態における OADM 装置の構成を示す図である。

【図 19】第 3 の実施形態における OADM 装置の構成を示す図である。

【図 20】従来の AOTF の構成を示す図である。

【図 21】AOTF を用いた OADM 装置の第 1 の基本構成を示す図である。

【図 22】AOTF を用いた OADM 装置の第 2 の基本構成を示す図である。

【符号の説明】

10 AOTF

11、51、61 光強度検出手段

12 最大値判別手段

13 周波数制御手段

14、24、34、44、54 RF 信号発生手段

18 第 3 の偏光手段

20 基準信号挿入手段

21 基準信号検出手段

23、33、43、63 周波数演算手段

30 光増幅器

31、41 スペクトルモニタ

32 波長判別手段

50 重畳手段

10 52 トラッキング手段

62 強度最大値判別手段

70 記憶手段

71 遮断手段

80 光アンプ

82 基準信号源

83、89 光カプラ

84、90、112、113、135、136 AOTF 部

85、95、117、120、140、143、18

20 5、186、189 PD

87 リジェクト側 AOTF 制御 CPU

88、98、119、120、139、142、16

1、171、180 RF 信号源

99、157 スペクトルモニタ

100 OADM 装置制御 CPU

101、125、147、160、192 EEPROM

123 分岐側 AOTF 制御 CPU

131 光 SW

30 145 挿入側 AOTF 制御 CPU

148、159 RAM

151 光カプラ

152、181 光信号生成回路

153 AOTF ユニット

154、182 受信処理回路

158、191 AOTF 制御 CPU

162 スイッチ

172 第 1 の光導波路

173 第 2 の光導波路

40 174、179 IDT

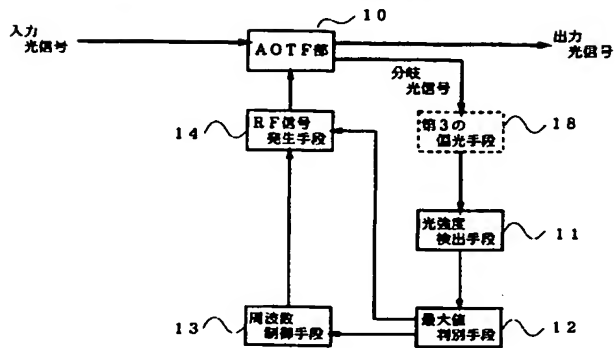
175 第 1 の SAW ガイド

176、177、184 PBS

178 第 2 の SAW ガイド

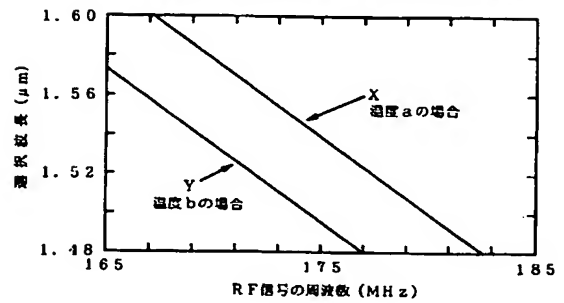
【図 1】

請求項 1, 2, 3, 9, 10 に記載の発明の原理構成



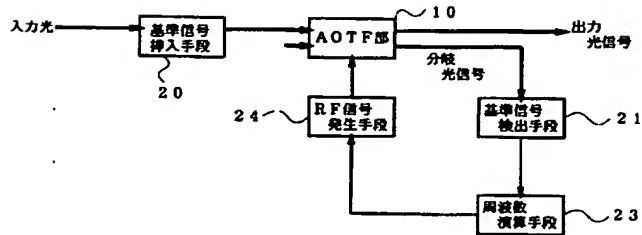
【図 2】

温度変化に対する RF 信号の周波数と選択波長との関係



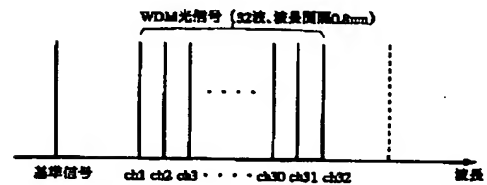
【図 3】

請求項 4, 5 に記載の発明の原理構成

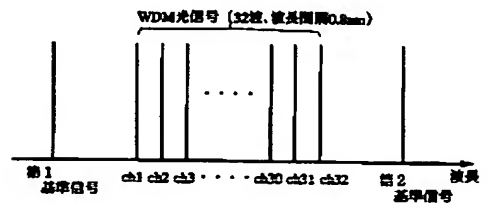


【図 4】

基準信号と WDM 光信号との関係



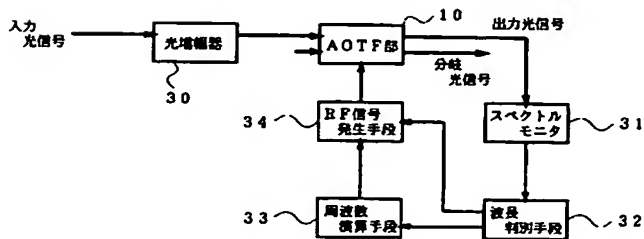
(a) 基準信号が 1 つである場合



(b) 基準信号が 2 つである場合

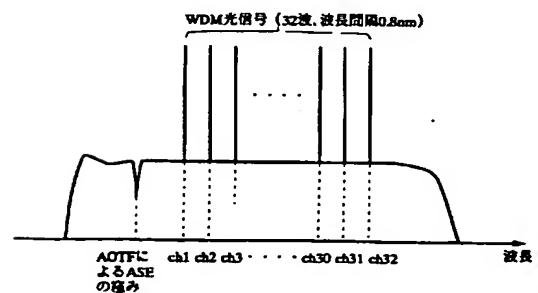
【図 5】

請求項 6 に記載の発明の原理構成



【図 6】

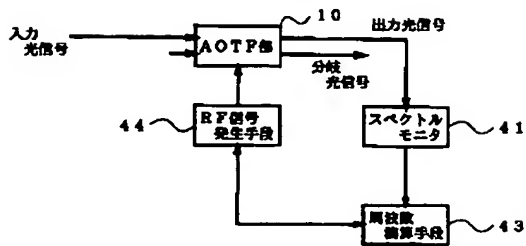
ASE の広がり WDM 光信号との関係





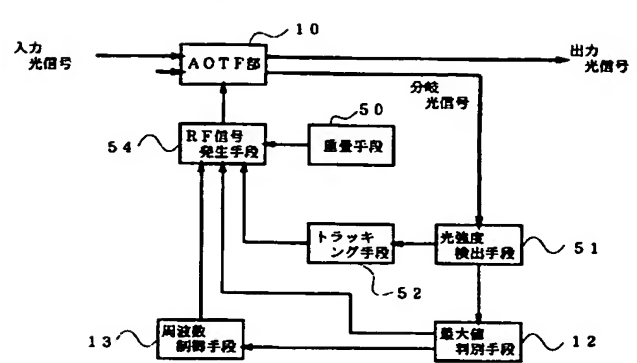
【図 7】

請求項 7 に記載の発明の原理構成



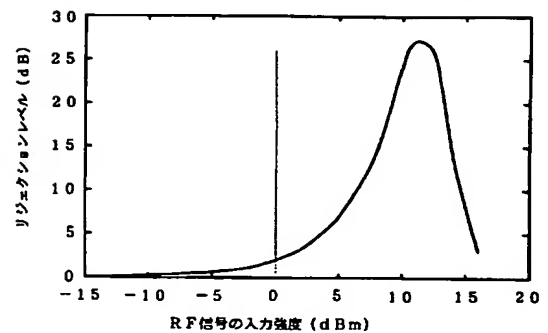
【図 8】

請求項 11、12 に記載の発明の原理構成



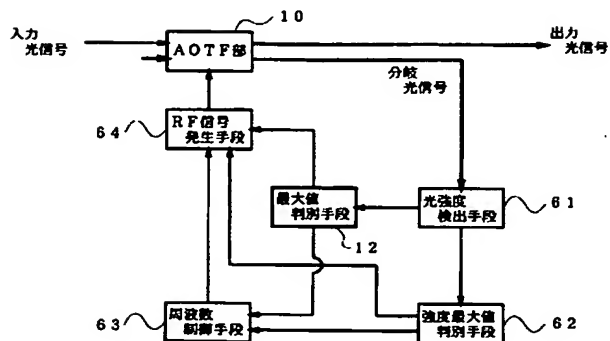
【図 10】

RF 信号の入力強度とリジェクションレベルとの関係



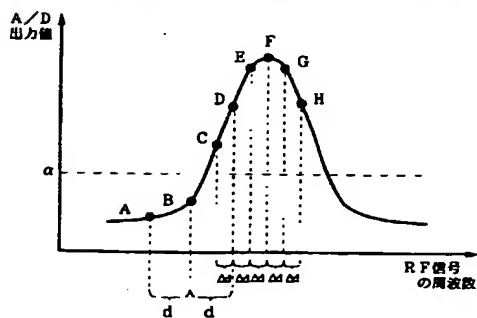
【図 9】

請求項 14 に記載の発明の原理構成



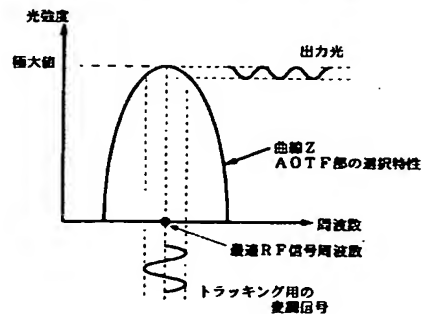
【図 14】

基準信号をスキャンする方法を説明するための図



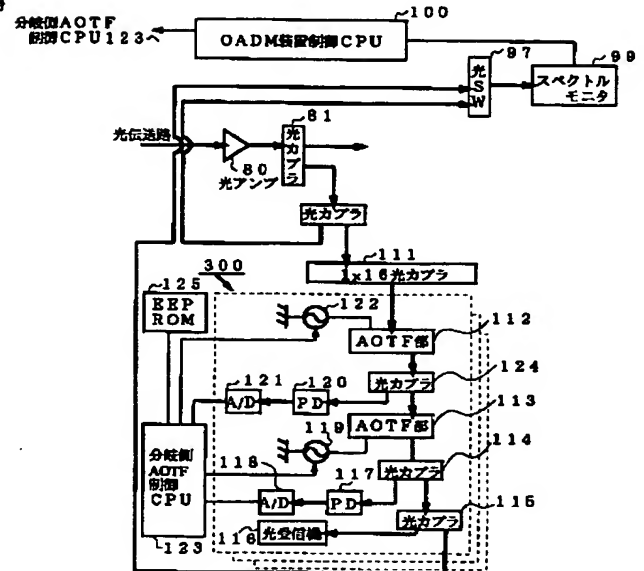
【図 15】

トラッキング用の変調信号と出力光との関係



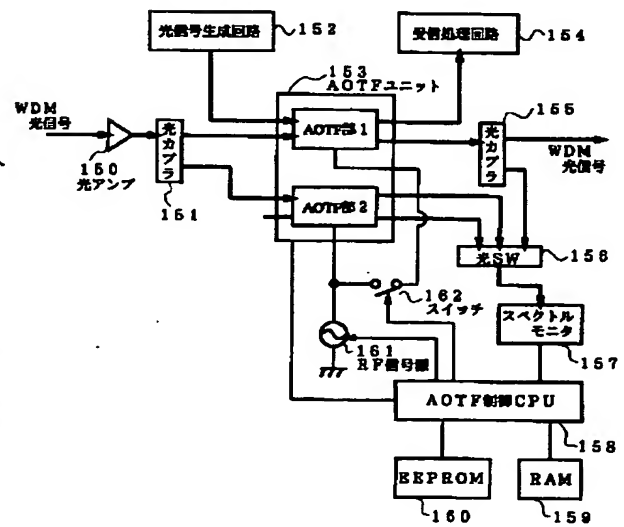
【図 16】

### 第1の実施形態におけるOADM装置に関し 受信処理部分の構成



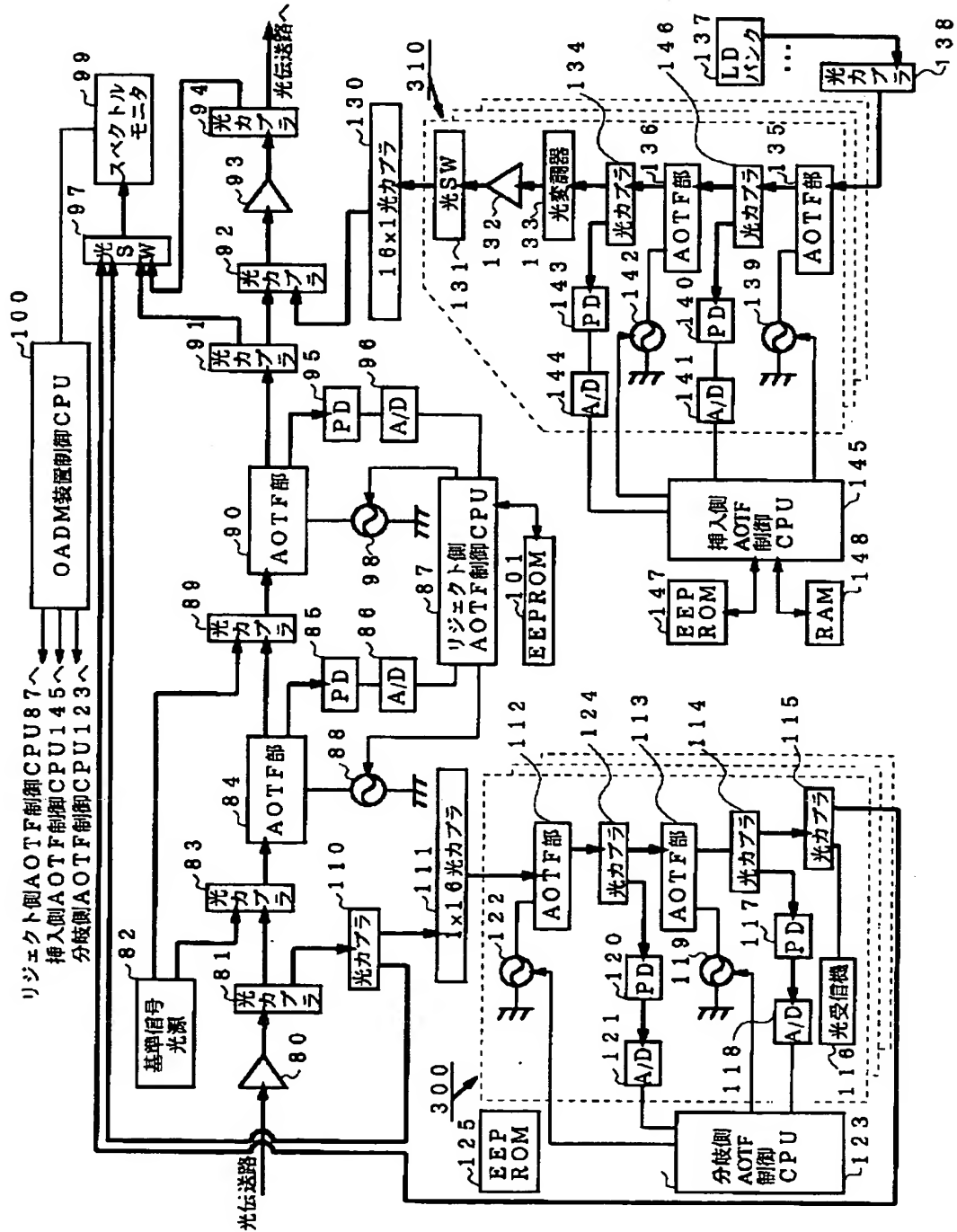
【图 18】

## 第2の実施形態におけるOADM装置の構成



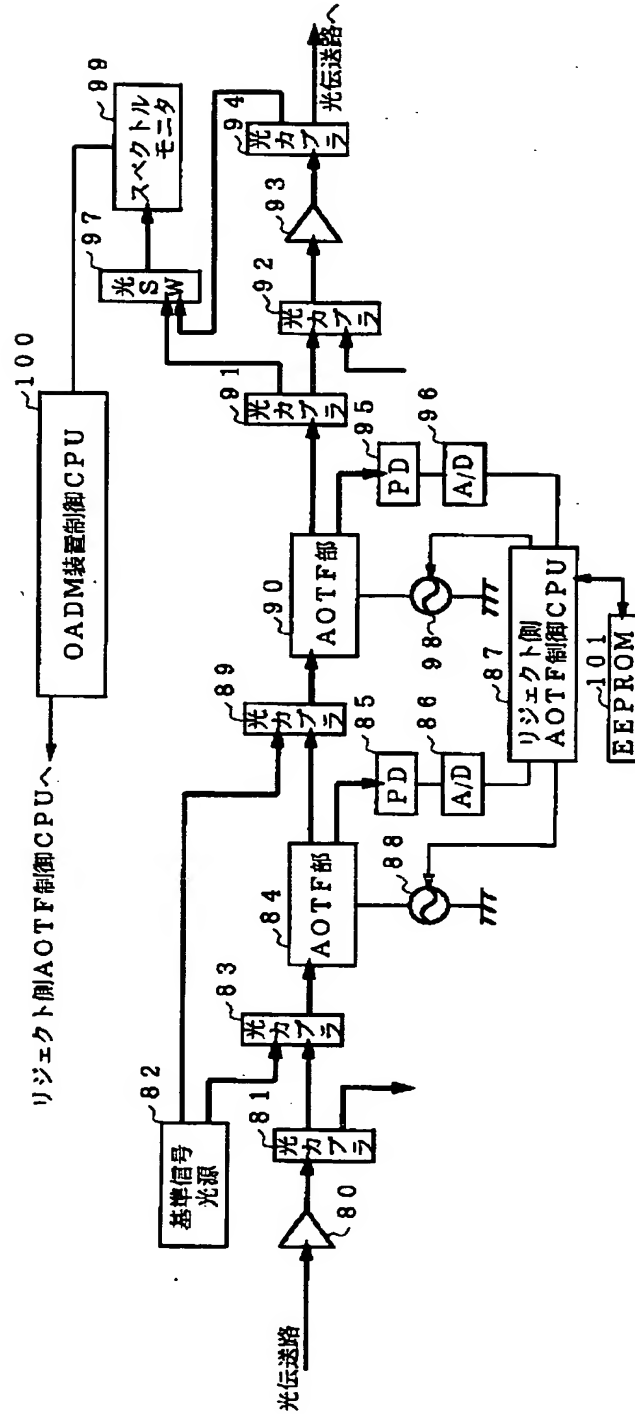
【図12】

第1の実施形態におけるOADM装置の構成



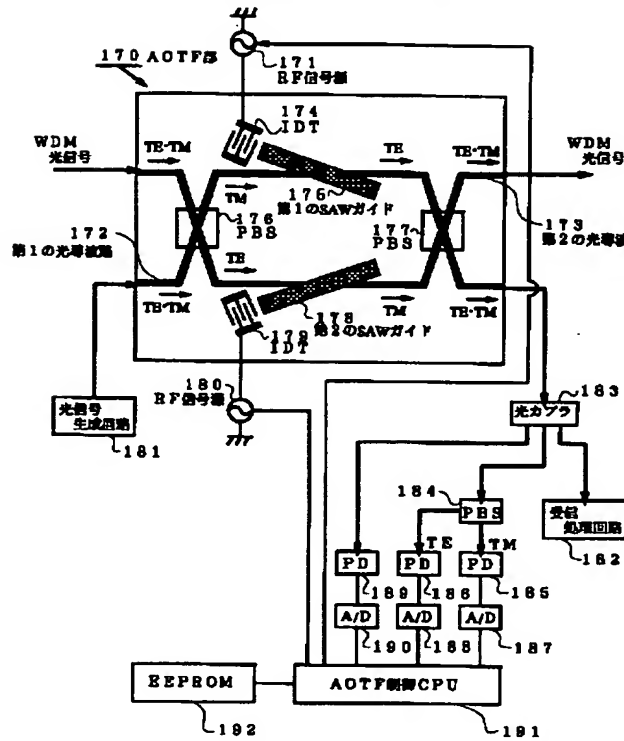
【図13】

第1の実施形態におけるOADM装置に関し  
リジェクト部分の構成



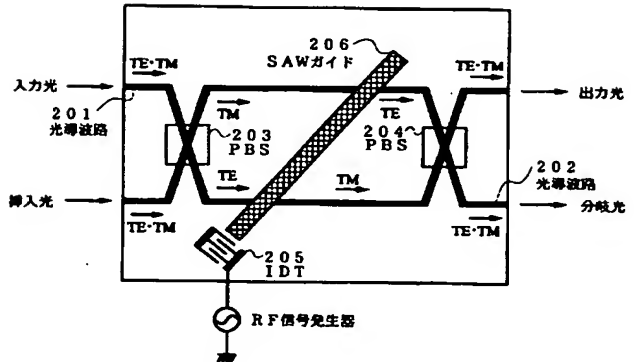
【図19】

図3の実施形態におけるOADM装置の構成



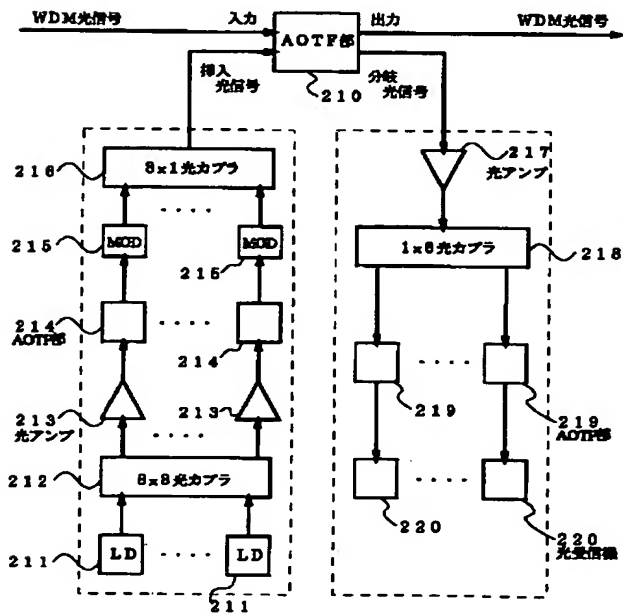
【図20】

従来のAOTFの構成



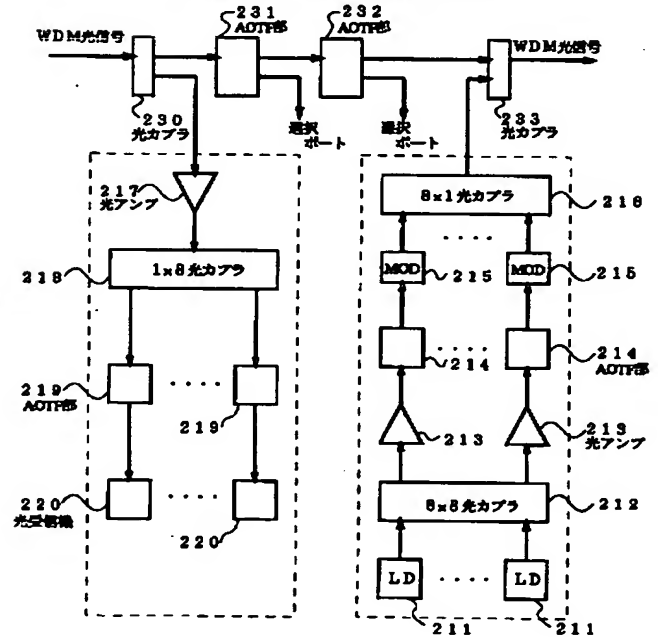
【図21】

AOTFを用いたOADM装置の第1の基本構成



【図22】

AOTFを用いたOADM装置の第2の基本構成



フロントページの続き

(72)発明者 齋藤 芳広

神奈川県横浜市港北区新横浜 2 丁目 3 番 9  
号 富士通デジタル・テクノロジー株式会  
社内

(72)発明者 久保寺 和昌

神奈川県横浜市港北区新横浜 2 丁目 3 番 9  
号 富士通デジタル・テクノロジー株式会  
社内

F ターム(参考) 2H079 AA04 AA12 BA02 CA07 EA05  
EB23 FA03 FA04 HA07 KA06  
5K002 BA02 BA04 BA05 CA05 CA13  
DA02 EA05 FA01